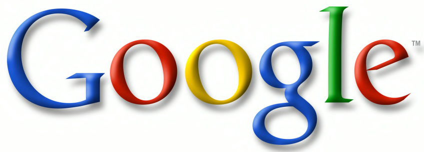
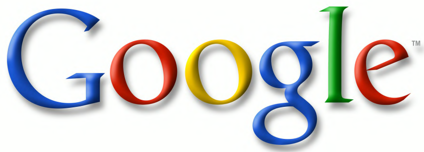
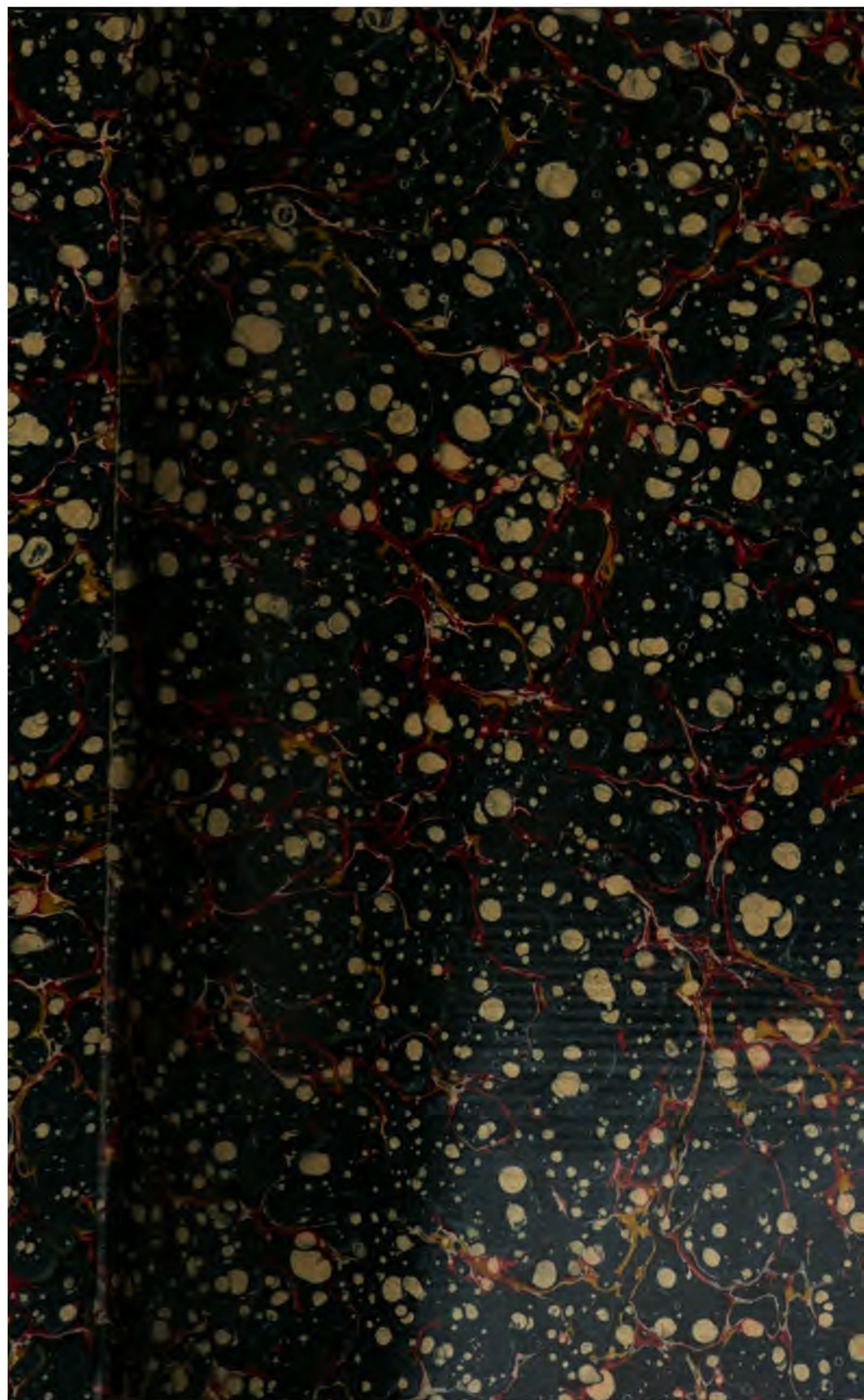





HARVARDIANAE
ET
SIGILLVM ACADEMIAE
IN NOV ANG
VE
RI
TS
CHRISTO
ECCLESIAE



ANNALES
DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et du secrétariat, est composée ainsi qu'il suit :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des Annales des Mines.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

HUITIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME I.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

—

1882

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1882.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

ANTOINE (Ch.). — Calculs des propulseurs héliçoïdaux; par M. Ch. Antoine, ingénieur de la marine. In-8°, 31 p. avec tableaux. (3983)

BARÊME, prix équivalents du mètre, de l'aune et du yard. In-12, 22 p. 2 fr. (2111)

BOURDEAU (L.). — Théorie des sciences; plan de science intégrale; par L. Bourdeau. 2 vol. in-8°. 20 fr. (5938)

Calculateur (le) merveilleux, contenant tous les comptes entièrement faits en francs et centimes. In-12, 292 p. 3 fr. (1872)

CASAMAJOR (de). — Enoncés et solutions développées des problèmes contenus dans son traité d'arithmétique. In-8°, 179 p. (2133)

COLLIGNON (E.). — Sur la cubature des solides de révolution; par M. Ed. Collignon, ing. en chef des ponts et chaussées. In-8°, 31 p. avec fig. (6563)

DUPONCHEL (A.). — Les taches solaires réglées par l'excentricité des mouvements planétaires; par A. Duponchel, ing. en chef des p. et ch. In-8°, 31 p. et tableau. (4076)

FLAMMARION (C.). — Astronomie populaire. Description générale du ciel. Ouvrage illustré de 360 fig., pl. en chromolithographie, cartes célestes, etc. Gr. in-8°, 845 p. 12 fr. (4649)

JURISCH (E.). — Cours de géométrie descriptive, 2e vol. (2e fasc.), à l'usage des élèves de la classe de mathématiques spéciales, etc. In-8°, 116 p. avec fig. et pl. (5508)

LAGOUT (E.). — Takitechnie, mathématiques élémentaires, ou des arts assimilés par la takimétrie, baccalauréat ès sciences à livre ouvert. In-8°, XXVIII-396 p. avec fig. coloriées. (1955)

LAISANT. — Sur les développements de certains produits algébriques. In-8°, 26 p. et 1 pl. (5756)

MONTAGNE (C.). — La parallaxe du soleil, démonstration classique. In-32, 3f,25. (4161)

PICQUET (H.). — Traité de géométrie analytique, à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et aux grades universitaires; par M. H. Picquet. Première partie : Géométrie analytique à deux dimensions. In-8°, VII-612 p. avec 127 fig. (2212)

REBIÈRE (A.). — Cours de trigonométrie élémentaire, à l'usage des aspirants au baccalauréat ès sciences et des candidats aux écoles du gouvernement. In-4°, 224 p. avec 69 fig. 3f,50. (3087)

SAUVAGE (L.). — Sur les propriétés des fonctions définies par un système d'équations différentielles, linéaires et homogènes à une ou plusieurs variables indépendantes. In-4°, 51 p. (1796)

THOUVENEL (A.). — Cours de géométrie descriptive à l'usage des élèves-architectes de l'Ecole nationale et spéciale des beaux-arts ou qui se destinent à cette école, entièrement conforme au programme officiel; par A. Thouvenel, professeur diplômé de l'Ecole des beaux-arts. Première partie. In-8°, 93 p. avec fig. Paris. (407)

2° *Physique et Chimie.*

CABANELLAS. — Organisation automatique du transport et de la distribution de l'énergie, communication de M. Cabanellas à la sixième séance (1er octobre 1881) du congrès international des électriciens à Paris. In-4°, 74 p. (220)

CALVET (A.). — Traitement des goudrons de houille. In-8°, 24 p. 1 fr. (3709)

CARLIER (H.). — Observations météorologiques faites à Saint-Martin-de-Hinx (Landes), du 1er décembre 1880 au 30 novembre 1881. In-4°, 17 p. avec tableaux. (5419)

COULON (R.). — Etude de l'action que deux parties consécutives d'un même courant exercent l'une sur l'autre, présentée à la Sorbonne au congrès des sociétés savantes des départements. In-8°, 28 p. et planche. (2918)

DELFAU. — Considérations sur le plâtrage des vins; Rédactions chimiques, effets physiologiques, utilité. In-8°, 35 p. (2928)

DU MESNIL (O.). — Des dépôts de voiries de la ville de Paris considérés au point de vue de la salubrité. In-8°, 21 p. (4074)

—— Des mesures à prendre contre l'infection du sol par les puisards. In-8°, 12 p. avec 3 fig. (4640)

Duter (E.). — Cours d'électricité (programme du 2 août 1880), classe de rhétorique. In-18, 269 p. avec 200 fig. (4640)

Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. Frémy, de l'Institut, directeur du Muséum, par une réunion d'anciens élèves de l'Ecole polytechnique, de professeurs et d'industriels, et notamment de MM. Becquerel, Berthelot, Bourgoin, Carnot, Cloez, Debize, Debray, etc. — T. I. Introduction. 1er et 2e fasc., 1890 p. avec 81 pl. et nombreuses vign. 76 fr. — T. II. *Métalloïdes.* 1er fasc. Nomenclature, équivalents, atomes, oxygène, azote, air, eau. 412 p. avec 86 vign. 25 fr. — T. V. Section des grandes industries chimiques : soufre, acide sulfurique, acide nitrique, acide chlorhydrique, potasse, soude; par M. Sorel. 40 fr. — Section de la métallurgie. 1er cahier : Principes généraux; par M. Gruner. Gr. in-8° avec vign. et pl. 5 fr. (2676)

Fabre (C.). — Aide-mémoire de photographie pour 1882. In-18, 344 p. et planche. 1f,75. (2959)

Figuier (L.). — L'art de l'éclairage. In-18 jésus, 288 p. avec 114 fig. 2 fr. (2383)

Geoffroy (J.). — De la connaissance et de la dénomination des couleurs dans l'antiquité. In-8°, 35 p. (2403)

Granjux. — De la désinfection dans les quartiers militaires. In-8°, 22 p. (4667)

Guette (G.). — La fuchsine. In-12, 60 p. (4668)

Hospitalier (E.). — La physique moderne; les principales applications de l'électricité. (Les sources d'électricité; l'éclairage électrique; téléphone; microphone; photophone, etc.) In-8°, VIII-327 p. avec 130 fig. et 4 pl. (2422)

Legal (F.). — La marche et la conduite des chronomètres d'après les travaux de MM. Caspari, Lieussou, de Magnac, etc. In-8°, 32 p. (5812)

Lephay (J. M. S.). — De la circulation générale atmosphérique à la surface des océans d'après les nouvelles cartes de direction et d'intensité de M. le lieutenant de vaisseau Brault. In-8°, 36 p. et 4 pl. coloriées. (3015)

Lévy (M.). — Sur les unités électriques et sur une proposition tendant à les rattacher au système métrique. In-8°, 28 p. (2444)

Lumière (la) Edison. Système d'éclairage électrique; transmission de la force motrice à domicile; la presse française et le système Edison. In-8°, 88 p. avec 23 fig. et portrait. (6395)

Mascart (E.) et J. **Joubert**. — Leçons sur l'électricité et le magnétisme. T. I. Phénomènes généraux et théorie. In-8°, II-740 p. avec 127 fig. (6686

PENNETIER (G.). — Leçons sur les matières premières organiques; origines, provenance, caractères, composition, sortes commerciales, altérations naturelles, falsifications et moyens de les reconnaître, usages; par le docteur Georges Pennetier, directeur du Muséum d'histoire naturelle de Rouen. In-8°, XII-1020 p. avec 344 fig. (2205)

PETREQUIN. — Exploitation des salpêtres et guanos au Chili. In-4°. In-8°; 11 p. (2493)

PICOU (R. V.) — Manuel d'électrométrie industrielle. In-8°, 159 p. avec 38 fig. (6438)

WEILLER (L.). — Lignes téléphoniques aériennes; emploi du fil de bronze phosphoreux, conférence faite à l'exposition d'électricité de Paris par M. Lazare Weiller dans la réunion internationale des électriciens (séance du 15 octobre 1881.) (4759)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

CROSSE (H.). — Faune malacologique du lac Tanganyika. In-8°. 66 p. et 1 pl. (3193)

FONTANNES (F.). — Les Invertébrés du bassin tertiaire du sud-est de la France. T. 2. Fasc. 1 et 2. Grand in-4°, p. 1 à 160 et 9 pl. (4398)

LAUR (F.). — Géologie et hydrologie de la plaine du Forez, étude par les sondages. 2° liv. avec 3 pl. In-8°, p. 53 à 136. (3856)

LÉTRANGE (L.). — Communication à la Société des ingénieurs civils, sur l'application de l'électricité à la métallurgie du zinc. In-8°, 10 p. (1977)

MEUNIER (S.). — Excursions géologiques à travers la France. In-8°, 317 p. avec 2 pl. hors texte et 97 fig. 10 fr. (2770)

MORGAN (J. de). — Mémoire sur les terrains crétacés de la Scandinavie. In-4°, 52 p. et 2 pl. (2016)

VELAIN (C.). — Premières notions de géologie (pierres et terrains). In-18 jésus, IV-212 p. avec 142 fig. 2f,50. (1818)

4° *Mécanique. — Exploitation des mines. — Droit des mines.*

MALLARD et LE CHATELIER. — Sur les procédés propres à déceler la présence du grisou dans l'atmosphère des mines. In-8°, 50 p. avec 6 fig. (5259)

AGUILLON (L.). — Note sur les expériences entreprises par M. le professeur Abel pour étudier le rôle des poussières dans les explosions de mines. In-8°, 43 p. (1541)

AGUILLON (L.). — Rapport fait au nom de la commission chargée par M. le ministre des travaux publics d'étudier les questions concernant la rupture des câbles de mines. In-8°, IV-126 p. (1542)

BACLÉ (L.). — La mécanique moderne; les voies ferrées, par L. Baclé, ingénieur civil des mines. (L'histoire; la route métallique; le moteur mécanique; les trains en marche; les chemins de fer dans les montagnes; les voies ferrées dans les villes.) In-8°, VII-324 p. avec 143 fig. et 4 pl. (2286)

BUREAU (G.). — La vapeur, ses principales applications, voies ferrées, navigation. In-18 jésus, 351 p. avec 48 fig. 2 fr. 50. (2620)

CALLON (J.). — Lectures on mining delivered at the School of mines, Paris; by J. Callon, inspector general of mines. Translated at the author's request by W. Galloway, mining engineer, and C. Le Neve Foster. D. Sc. H. M., inspector of mines. In three volumes. Vol. II. In-8°, XIV-544 p. et album de 54 pl. (1589)

CHRÉTIEN (J.). — Conférence sur la transmission électrique du travail mécanique, faite aux ancions élèves des écoles d'arts et métiers. In-8°, 21 p. (2328)

DELMAS (G.) et L. SOTTE. — Album du taillandier et du forgeron, guide pratique du forgeron, taillandier, serrurier, coutelier et tout ouvrier travaillant le fer et l'acier. In-12, 159 p. et 6 pl. (3197)

GACHASSIN-LAFITE. — Tunnel de la Manche, difficultés d'aération. In-8°, 18 p. (3794)

LAGACHE (E.). — Rapport fait à la municipalité de la ville de Lille sur l'Exposition universelle de 1878 pour la profession de chaudronnier en fer. Petit in-12, 30 p. (4129)

ORTOLAN (J. A.). — Mémoire sur les huiles minérales employées à lubrifier les mouvements des machines et sur la conservation des chaudières à vapeur. In-8°, 66 p. (1752)

RENOUARD (A.). — Étude du mécanisme de l'étaleuse à lin. In-8°, 22 p. avec fig. (4207)

SCIAMA (G.). — Étude élémentaire des moteurs industriels, de leur travail et de ses transformations. In-18 jésus, VIII-375 p. avec 253 fig. (2527)

SÉE (P.). — Description des machines et appareils ayant rapport à l'industrie textile à l'Exposition universelle de 1878, à Paris. In-8°, 234 p. avec tableaux. (4224)

WILLOTTE. — Les appareils à air comprimé et leur emploi au dérasement de la roche La Rose. In-8°, 15 p. (4270)

DELECROIX (E.). — Traité théorique et pratique de la législation des sociétés des mines et spécialement des sociétés houillères en France et en Belgique. In-8°. 9 fr.

DELECROIX (E.). — Commentaire de la loi du 27 juillet 1880 portant revision de la loi du 21 avril 1810 concernant les mines, suivie d'une étude sur les chemins de fer d'embranchement des mines en France et en Belgique. In-8°. 7 fr.

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

ASSOLANT (C.). — De la nécessité et des avantages du rachat des chemins de fer français par l'État. In-8°, 32 p. 1 fr. (187)

BOILEAU (P.). — Notions nouvelles d'hydraulique concernant principalement les tuyaux de conduite, les canaux et les rivières. In-4°, XII-224 p. et planche. (1576)

Annuaire du personnel commissionné de la construction dans la compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée. (Année 1882.) In-8°, 48 pages. 1f,25. (3363)

BERT (A.). — Sécurité (la) du port du Havre, nouveau projet d'endiguement de la rade. In-4°, 13 p. et 3 pl. (3680)

BOUQUET DE LA GRYE. — Résumé d'une étude sur la création d'un port de mer à Paris. In-4°, 27 p. (4792)

BRESSON (L.). — Du régime et du rachat des chemins de fer. Gr. in-8°, 80 p. (2614)

CHABRIER (E.). — Chemins de fer; les chemins de fer en Algérie : Kreider, les Chotts, Mecheria. In-8°, 11 p. (5427)

Chemins (les) de fer d'intérêt local et les voies ferrées établies sur voies publiques. Recueil des documents législatifs et administratifs. In-8°, 244 p. (5128)

COLOMB (L. C.). — Habitations et édifices de tous les temps et de tous les pays. In-8°, 319 p. avec vign. 3 fr. (6564)

GRAEFF. — Mémoires sur les expériences relatives à l'écoulement des eaux faites au réservoir du Furens. In-4°, 91 p. et 10 pl. (3465)

GRISON (G.). — Les accidents de chemins de fer ; grandes catastrophes : Versailles, Puteaux, Auteuil, Gagny, rue d'Avron, Clichy-Levallois, Charenton, Pontoise, etc.; négligence et faute des compagnies, causes des accidents, moyens de les éviter : ce qu'on a fait, ce qu'il faudrait faire. In-18 jésus, 281 p. 3 fr. (884)

HEUZÉ (L.). — Paris, chemins de fer métropolitains en élévation à air libre, dans une voie privée, avec passage couvert pour piétons, desservant les halles centrales, l'hôtel des postes, le palais de justice, les chemins de fer, la ceinture, la banlieue annexée, etc. In-8°, 22 p. avec plans et fig. (5500)

JACQMIN (A.). — Étude sur les chemins de fer des Pays-Bas; 2e édi-

tion, augmentée de pièces justificatives et d'une carte des Pays-Bas. In-8°, 160 p. (3828)

KRANTZ (J. B). — Observations au sujet des prix de transport, des tarifs et du rachat des chemins de fer. In-8°, 78 p. (1164)

LAVALARD. — Tramways en Italie; considérations générales; tramways à vapeur de Milan employés comme chemins de fer d'intérêt local; chemins de fer économiques. In-8°, 20 p. (4139)

LE CORDIER. — Note sur les voitures à vapeur, système Amédée Bollée. In-8°, 30 p. (2742)

MICHAUD (P.). — Note sur les dérivations de sources pour l'alimentation des villes au point de vue administratif et légal. In-8°, 36 p. (2462)

MULERT (H. de). — Voies sur longrines en fer pour tramways. Gr. in-8°, 11 p. et planche. (3280)

PÉRISSÉ (S.). — Du gauchissement des poutres des ponts en fer; Calculs des contreventements. In-8°, 32 p. avec 6 fig. (3564)

Réglementation des constructions dans Paris. Examen du projet de décret sur la hauteur, le mode de construction et la salubrité intérieure des bâtiments. Observations présentées par MM. les architectes à M. le préfet de la Seine et au conseil municipal de Paris. In-8°, 31 p. (3089)

SCHALLER. — Mémoire sur le chemin de fer métropolitain de la ville de Vienne (Autriche). In-8°, 26 p. (4222)

VAUTHIER (L. L.). — Port de Rouen; Rapport sur les améliorations dont sont encore susceptibles la Seine maritime et son estuaire, etc. In-4°, 80 p. avec tabl. et 21 pl. 15 pl. 15 fr. (2087)

Annuaire du bâtiment, des travaux publics et des arts industriels, par Sageret. (1882. 52e année.) In-8°, LVI-1728 p. 5f,50. (2278)

6° *Sujets divers.*

ALLOURY (L.). — Comment s'est fait le canal de Suez, pages d'histoire contemporaine, recueillies sur les documents de M. de Lesseps. In-18 jésus, 137 p. avec 2 cartes de l'isthme, des notes et des documents historiques. (4766)

BELLIER DE LA CHAVIGNERIE et L. AUVRAY. — Dictionnaire général des artistes de l'École française depuis l'origine des arts du dessin jusqu'à nos jours. (Architectes, peintres, sculpteurs, graveurs et lithographes.) T. I. In-8° à 2 col., 1070 p. (1854)

BERT (P.). — La Première année d'enseignement scientifique (sciences naturelles et physiques.) Animaux, végétaux, pierres et terrains, physique, chimie, physiologie animale, physiologie

végétale, ouvrage répondant aux nouvelles matières obligatoires de l'enseignement primaire et aux programmes des classes élémentaires des lycées et collèges. In-12, 336 p. avec 550 vign. (3378)

DARWIN (C.). — Rôle des vers de terre dans la formation de la terre végétale. Traduit de l'anglais par M. Levêque. Préface de M. Edmond Perrier, professeur au Muséum d'histoire naturelle. In-8°, XXVIII-264 p. (6576)

DEMÉNIEUX (E.). — La sculpture et les sculpteurs français du XII° au XIX° siècle. Coysevox (1640-1720). In-8°, VII-107 pages. (4063)

DESCHAMPS (E.). — Etude sur la propriété industrielle, littéraire et artistique au point de vue de la cession des droits de l'inventeur, du fabricant et de l'auteur. In-8°, 120 p. (6579)

DUCLAU (S.). — Les ballons et les premiers voyages aériens. In-12, 143 p. (6297)

DUPONCHEL (A.). — Théorie des alluvions artificielles, fertilisation des landes et réservoirs d'aménagement des eaux de crue dans la région des Pyrénées. In-8°, 332 p. et 3 cartes. 5 fr. (658?)

FIGUIER (L.). — L'année scientifique et industrielle, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger, accompagné d'une nécrologie scientifique. 25° année (1881), contenant le compte rendu de l'Exposition internationale d'électricité. In-18 jésus, 567 p. et 1 grav. 3f,50. (2382)

GRIMBLOT (L.). — Les secrets du coloris et du lavis; mélange et application des couleurs, teintes et signes conventionnels pour le dessin géographique, topographique, architectural et industriel. 2° édition. In-18 jésus, 72 p. avec fig. et 2 pl. de modèles coloriés. 1f,50. (3812)

RIOLS (J. de). — L'art de cuire sans moufle; le peintre sur porcelaine cuisant lui-même dans son poêle; ouvrage indispensable aux amateurs de peintures vitrifiables sur porcelaine, faïence, émail, verre, etc. In-8°, 32 p. (5332)

VILLAIN. — Le monde souterrain. In-8°, 208 p. et grav. (7·8)

OUVRAGES BELGES.

HIRN. Recherches expérimentales sur la relation qui existe entre la résistance de l'air et sa température. Conséquences physiques et philosophiques qui découlent de ces expériences. Colmar. In-4°, 91 p., av. 4 pl. (Extr. des *Mém. de l'Acad. royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique.*)

OUVRAGES ANGLAIS.

Memoirs of the Geological Survey. The geology... Géologie des environs de Stowmarket (explication de la feuille 50 S. O.), par W. Whitaker, F. J. Bennett et J. H. Blake. In-8°. 1f,25.

— *The geology...* Géologie des environs de Chester (explication de la feuille 80 S. O.), par Aubrey Strahan. In-8°. 2f,50.

— *The geology...* Géologie de la région autour de Prescot, Lancashire; description de la feuille 80 N. O., par Edward Hull. 3e édition avec additions par A. Strahan. In-8°. 3f,75.

— *The geology...* Géologie de la région autour de Norwich (explication des feuilles 66 N. E. et 66 S. E.), par Horace B. Woodward; notes par J. H. Blake et C. Reid; listes de fossiles revues par R. Etheridge. In-8°. 8f,75.

Explanatory memoir... Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 45 de la carte géologique de l'Irlande. In-8°. 2f,20.

Geological Survey of Great Britain. Memoirs. Mémoires, vol. 3, 2e édition. In-8°. 26f,25.

Parliamentary. Railway brakes... Freins continus; rapports. 1f,40.

— *Railways. Rates...* Comité des tarifs de chemins de fer. 2f,65.

— — *8th annual report.* Huitième rapport annuel sur les chemins de fer. 1f,05.

— *Railway signal..* Signaux de chemins de fer. Rapport. 0f,85.

— *Railway accidents...* Accidents de chemins de fer. Rapports pour 1881. 8f,45.

— *Royal school...* Ecole royale des mines. Correspondance. 0f,55.

BUCHNER. *Force ..* Force et matière. In-8°, 254 p. 6f,25.

FISCHER. *Physics...* Physique de l'écorce terrestre. In-8°, 312 p. 15 fr.

BARRY and BRAMWELL. *Railways...* Chemins de fer et locomotives. In-8°, 428 p. 26f,25.

REYNOLDS. *Locomotive engine...* Conduite des locomotives. 5e édition. 5f,65.

—— *Continuous railways...* Freins continus des chemins de fer; traité pratique des systèmes en usage dans le Royaume-Uni. In-8°, 326 p. 11f,25.

BURNSIDE and PANTON. *The theory...* Théorie des équations. Dublin. In-8°, 410 p. 13f,15.

GOODEVE. *Text-book...* Traité de la machine à vapeur. 4e édition. In-8°, 298 p. 7f,50.

JONES. *The miner's...* Manuel du mineur. In-8°, 116 p. 3f,15.

NORTHCOTT. *The theory...* Théorie et action de la machine à vapeur. 2e édition. In-8°, 178 p. 4f,40.

RAMSAY. *A treatise...* Traité de la ventilation et de l'exploitation des houillères. Newcastle-upon-Tyne. In-8°, 70 p. 6f,25.

RANKINE. *A manual...* Manuel de mécanique appliquée. 10e édition, entièrement revue. In-8°, 676 p. 15f,65.

EVERETT. *Vibratory...* Mouvement vibratoire et son. In-8°, 142 p. 9f,40.

STRANGE. *The development...* Le développement de la création sur la terre. In-8°, 108 p. 3f,15.

SUTTON. *A systematic...* Manuel systématique d'analyse volumétrique. 4e édition. In-8°, 470 p. 20 fr.

MEADE. *The coal and iron...* L'industrie du charbon et du fer dans le Royaume-Uni; comprenant une description des bassins houillers et des principales couches de charbon, avec une carte des bassins houillers et des gîtes de minerais de fer du Royaume-Uni. In-8°, 890 p. 35 fr.

CLEMENT. *Tabular view...* Tableaux des systèmes géologiques, avec leur composition lithologique et leurs restes organiques. In-8°, 24 p. 1f,25.

BAGOT. *Principles...* Principes de la ventilation des houillères. 2e édition, considérablement augmentée. In-8°, 144 p. 6f,25.

KELLAND and TAIT. *Introduction...* Introduction aux quaternions. 2e édition. In-8°, 260 p. 11f,40.

GEIKIE. *Geological...* Esquisses géologiques chez nous et à l'étranger. In-4°, 370 p. 13f,15.

ROWAN. *Coal...* Le charbon, combustion spontanée et explosions survenant dans les chargements. In-8°, 110 p. 6f,25.

HUGHES. *Geological notes...* Notes géologiques sur l'Irlande. 4e édition, revue et augmentée. Dublin. In-12, 130 p. 1f,25.

BROWN. *Earth's diamonds...* Les diamants de la terre, ou le charbon, sa formation et sa valeur. In-12, 210 p. 3f,15.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

DONNELLY. *Atlantis the antediluvian...* Le monde antédiluvien d'Atlas. New-York. In-12, x-480 p. 12f,50.

HASWELL. *Engineer's and mechanic's...* Carnet de l'ingénieur et du mécanicien. 41e édition, augmentée et revue. New-York. In-12, 720 p. 18f,75.

FOYE. *Tables...* Tables pour la détermination, la description et la classification des minéraux. 2e édition, revue. Chicago. In-12, 85 p. 6f,25.

OUVRAGES SUISSES.

HEER. Contributions à la flore fossile du Portugal. Lisbonne-Zürich. In-4°, xiv-51 p., av. 29 pl. 20 fr.

SCHLAFLI. *Ueber die zwei...* Sur les deux fonctions sphériques de Heine à paramètre arbitraire et leur représentation générale par des intégrales définies. Berne. In-4°, iv-66 p. 5 fr.

DE LORIOL. Monographie paléontologique des couches de la zone *à Ammonites tenuilobatus* (couches de Baden) d'Oberbuchsitten et de Wangen (Soleure). Genève. In-4°, 120 p., av. 14 pl. 20 fr.

OUVRAGES ALLEMANDS.

GŒPPERT. *Beiträge...* Contributions à la pathologie et à la morphologie des troncs fossiles. Cassel. In-4°, 12 p., av. 5 pl. 15 fr. (Extr. des *Palæontographica.*)

—— und STENGEL. *Die Medullosæ.* Les Medullosées, nouveau groupe de Cycadées fossiles. Cassel. In-4°, 17 p., av. 4 pl. 15 fr. (Extr. des *Palæontographica.*)

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. v. Fehling*, avec le concours de Baumann, Bunsen, Classen, etc. Brunswick. In-8°, livraison 40 (T. III, p. 1249-1291 et t. IV, p. 1-48). 3 fr.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet...* Col-

lection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker, etc.; continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisons 308-311; 104 p., 23 pl. Chaque livraison, 11f,25.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle des temps primitifs. Publié par *W. Dunker* et *K. A. Zittel*. Cassel. In-4°. T. XXVIII (3e série, t. IV). Livr. 3-6, p. 111-261 av. 42 pl. 115 fr.

POST. *Chemisch-technische*... Analyse chimique technique. Brunswick. In-8°. 2e partie. P. IX-XL et 529-1093. 17 fr.

QUENSTEDT. *Petrefactenkunde*... Paléontologie de l'Allemagne. Leipzig. In-8°. 1re partie, t. VII, fasc. 1. Gastéropodes. 192 p. av. un atlas de 6 pl. 20 fr.

RAMMELSBERG. *Handbuch*... Manuel de chimie cristallographique. Leipzig. In-8°. 1re partie, XVI-615 p. 17f,50; 2e partie, XVI-532 p. 17f50.

SCHEFFLER. *Die Naturgesetze*... Les lois de la nature et leur liaison avec les principes des sciences abstraites. Leipzig. In-8°. 2e suppl. à la 2e partie. V-126 p., av. 3 pl. 3f,75.

ZÖLLNER. *Erklärung*... Explication de la gravitation universelle par les actions électriques statiques et importance générale de la loi de Weber. Leipzig. In-8°, XVI-112 p. 6f,25.

DÜRRE. *Die Anlage*... Établissement et exploitation des usines à fer. Leipzig. In-4°. T. I, livr. 9-12, p. 193-312, av. 20 pl. Chaque livraison, 7f,50.

MEISSNER. *Die Hydraulik*... L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna, In-8°. T. II. Turbines et roues hydrauliques. Fasc. 12-15. p. 601-839, av. 26 pl. Chaque fascicule, 3f,75.

UHLAND. *Handbuch*... Manuel du constructeur de machines. Leipzig, In-4°. Livraisons 21, 22. Chaque livraison, 3f,75.

ARENDT. *Technik*... Technique de la chimie expérimentale. Leipzig. In-8°. T. II, livr. 1-4. XXIV et p. 1-411, av. 1 pl. Chaque livraison, 3f,75.

Beiträge zur Paläontologie... Contributions à la paléontologie de l'Autriche-Hongrie et de l'Orient; publié par *E. v. Mojsisovics* et *M. Neumayr*. Vienne. In-4°. T. II, 4 fascicules. Fasc. 1 et 2, 70 p., av. 13 pl. 50 fr.

DOUBRAVA. *Ueber*... De l'électricité. Prague. In-8°, 1re partie, 96 p. 2f,75.

HANKEL. *Elektrische*... Recherches électriques sur divers minéraux. Leipzig. In-8°. 15e mémoire, 92 p.; 16e mémoire, 48 p.

Chaque mémoire, 2f,50. (Extr. des *Abhandl. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften.*)

HAUSHOFER. *Ideale*... Paysages géologiques idéaux. Cassel. In-8°. Pl. 1-4, av. texte : 5 p. 12 fr.

STUR. *Die Silur-Flora*... Flore silurienne de l'étage H-h1 de la Bohême. Vienne. In-8°, 62 p., av. 5 pl. 5f,65. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenchaften.*)

DANNENBERG und FRANTZ. *Bergmännisches*... Dictionnaire du mineur. Leipzig. In-8°, VIII-464 p. 6f,25.

RIEDLER. *Indicator-Versuche*... Expériences à l'indicateur sur les pompes et les machines d'épuisement. Munich. In-fol., 70 p. 15 fr.

ZETSCHE. *Handbuch*... Manuel de télégraphie électrique. Berlin. In-8°. T. III, 2e livraison, p. 177-272. 3f,50.

BRESINA. *Ueber*... Sur les lamelles de Reichenbach dans le fer météorique. Vienne. In-4°, 4 p. 2f,50. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

COHEN. *Sammlung*... Collection de photographies microscopiques montrant la structure des minéraux et des roches, exécutées par *J. Grimm* à Offenburg. Stuttgart. In-4°, 5e livraison, 8 pl. 20 fr.

DREHER. *Beiträge*... Contributions critiques à nos théories atomique et moléculaire modernes. Halle. In-8°, V-142 p. 2f,85.

ENGLER. *Versuch*... Recherches sur l'histoire du développement de la flore, et particulièroment des régions botaniques depuis la période tertiaire. 2e partie. Régions extratropicales de l'hémisphère sud et régions tropicales. Leipzig. In-8°, XIV-386 p. 13f,75.

HOLZMÜLLER. *Vollständige*... Examen complet d'une famille isogonale qui est représentée par une fonction discontinue du second degré. Leipzig. In-8°, 32 p., av. 4 pl. 2f,50. (Extr. des *Mathematische Annalen.*)

HOERNES und AUINGER. *Die Gasteropoden*... Les gastéropodes des couches marines des 1er et 2e étages méditerranéens miocènes de la monarchie austro-hongroise. Vienne. In-fol. 1re livraison, p. 113-152, av. 4 pl. 13f,50 (Entr. des *Abhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt.*)

MIETHING. *Die Bewegung*... Le mouvement d'un corps dans une enveloppe formée des deux ellipsoïdes homogènes, sous l'influence de la pesanteur et de l'attraction de l'enveloppe. Berlin. In-8°, 65 p. 2f,50.

ROSCOE und SCHORLEMMER. *Ausführliches Lehrbuch*... Traité général de chimie. Brunswick. In-8°. T. III, 1re partie, 624 p. 15 fr.

SCHENZL. *Beiträge*... Contributions à la connaissance des conditions magnétiques dans les pays de la couronne de Hongrie. Buda-Pesth. In-4°, XII-539 p., av. 6. pl. 26 fr.

SCHRŒDER. *Beiträge*... Contributions à la connaissance des céphalopodes siluriens trouvés dans les galets du diluvium de l'est et de l'ouest de la Prusse. Kœnigsberg. In-4°. 43 p. 3 fr.

WEINMEISTER. *Ueber die Drehung*... Sur la rotation d'une barre parallélipédique rectangulaire homogène autour d'un axe vertical. Londres. In-4°. 1f,90.

ZÜGE. *Ueber die Bewegung*... Sur le mouvement d'un point matériel sur des courbes et des surfaces cylindriques données, sous l'influence d'une force d'attraction. Lingen. In-4°, 26 p. 2f,50.

VENATOR. *Ueber das Vorkommen*... Sur le gisement et l'exploitation de la strontianite en Westphalie. Leipzig. In-4°, 9 p. 1f,25. (Extr. de la *Berg. und Huttenmänn. Zeitung.*)

BARRANDE. Système silurien du centre de la Bohême. 1re partie : Recherches paléontologiques. Vol. VI. Classe des mollusques ; ordre des acéphalés. 4 tomes. Prague. In-4°, XXIV-342 p., av. 361 pl. 350 fr.

BINDER. *Die Centralprojection*... La projection centrale comme construction auxiliaire dans la projection orthogonale. Vienne. In-8°, 45 p., av. 1 pl. 2f,50.

CLEVE und JENTZSCH. *Ueber einige*... Sur quelques couches de diatomées diluviales et alluviales du nord de l'Allemagne. Kœnigsberg. In-4°, 42 p., 2f,50. (Extr. des *Schrift. d. physik. ökonom. Gessellsch. zu Königsberg.*)

DRONKE. *Einleitung*... Introduction à la théorie analytique de la propagation de la chaleur, avec l'aide des papiers laissés par A. Beer et J. Plücker. Leipzig. In-8°, IV-97 p. 2f,50.

ENGELHARDT. *Ueber*... Sur les plantes fossiles du grès d'eau douce de Grasseth. Halle. In-4°, 52 p., av. 12 pl. 16f,25.

GÜNTHER. *Parabolische*... Logarithmes et trigonométrie paraboliques. Leipzig. In-8°, IV-99 p. 3f,50.

KLEIN. *Ueber*... Sur la théorie de Riemann des fonctions algébriques et de leurs intégrales. Leipzig. In-8°, VIII-82 p. 3 fr.

SPITZER. *Neue Studien*... Nouvelles études sur l'intégration des équations différentielles linéaires. 2e suite. Vienne. In-8°, IV-80 p. 4f,50.

STROUHAL und BARUS. *Ueber den Einfluss*... De l'influence de la trempe de l'acier sur son aimantabilité et de celle du recuit sur la force des aimants. Würzbourg. In-8°, IV-53 p. 3 fr. (Extr. des *Verhandl. d. phys. medicin. Gesellsch. zu Würzburg.*)

WEINLAND. *Ueber...* Sur les débris animaux découverts dans les météorites. Esslingen. In-4°, 12 p. 2f,50.

ZITTEL. *Handbuch...* Manuel de paléontologie. Munich. In-8°, t. I, 5e livr., 2e partie, p. 1-148. 7 fr.

CRAMER. *Beiträge...* Contributions à l'histoire de l'exploitation des mines dans la province de Brandebourg. Halle. In-8°, 6e fascicule. 143 p. 3f,75.

MUCK. *Grunzüge...* Principes et but de la chimie du charbon. Bonn. In-8°, VI-170 p. 6f,25.

v. URBANITZKY. *Die elektrische Beleuchtung...* L'éclairage électrique et son application pratique. Vienne. In-8°, IV-216 p. 5 fr.

DEICHMÜLLER. *Fossile Insekten...* Insectes fossiles des schistes à diatomées de Kutschlin, près Bilin, en Bohême. Halle. In-4°, 39 p. av. 1 pl. 3f,75.

HOLUB und NEUMAYR. *Ueber...* Sur quelques fossiles de la formation de Uitenhage dans le sud de l'Afrique. Vienne. In-4°, 12 p. av. 2 pl. 1f,75.

KRONECKER. *Grundzüge...* Principes d'une théorie arithmétique des grandeurs algébriques. Berlin. In-4°, VIII-174 p. 7f,50.

PESCHKA. *Neue Eigenschaften...* Nouvelles propriétés des surfaces normales à des surfaces du second degré le long de sections planes. Vienne. In-8°, 27 p., av. 3 pl. 2f,50.

LASKUS und LANZ. *Schwungräder...* Volants et régulateurs à force centrifuge. Leipzig. In-8°, 90 p. 2f,50. (Extr. du *Praktisch. Maschinen Constructeur.*)

MAHLER und ESCHENBACHER. *Die Sprentechnik...* Emploi technique des explosifs dans les travaux civils avec les procédés actuels : dynamite, allumage par mèches et par l'électricité, perforatrices et outillage de perforation. Vienne. In-8°, V-141 p., av. 10 pl. 3f,75.

BALTZER. *Analytische Geometrie.* Géométrie analytique. Leipzig. In-8°, VIII-535 p. 10 fr.

BEILSTEIN. *Handbuch...* Manuel de chimie organique. Hambourg. In-8°. Livraisons 8-10, p. 1105-1584. Chaque livraison 3f,75.

DU BOIS-REYMOND. *Die allgemeine...* La théorie générale des fonctions. Tubingue. In-8°. 1re partie, XIV-292 p. 10 fr.

PUCHTA. *Ein neuer Satz...* Une nouvelle proposition de la théorie des déterminants. Vienne. In-4°, 8 p. 2f,50. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenchaften.*)

THOMSEN. *Thermochemische...* Recherches thermo-chimiques. Leipzig. In-8°, t. I, XII-449 p. 16 fr.

TIETZE. *Die geologischen Verhältnisse...* Géologie de la région de

Lemberg, avec une carte des environs de Lemberg. Vienne. In-8°, 146 p. 7 fr. (Extr. du *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt.*)

Frenzl. *Die arithmetische...* L'intégration arithmétique des remblais et des déblais. Vienne. In-8°, 123 p., av. 5 pl. 6 fr.

Grubenmann. *Ein Beitrag...* Contribution à la connaissance du procédé Bessemer. Frauenfeld. In-4°, 32 p., av. 1 pl. 2 fr.

Handbuch der chemischen... Manuel de technologie chimique, composé et publié par *P. Bolley* en collaboration avec plusieurs savants et praticiens; continué après sa mort par *K. Birnbaum*. Brunswick. In-8°, t. VII, 6e livraison, p. XLIX-LIV et 881-1060. 6f,25.

OUVRAGES ITALIENS.

Cacciamali. *Una gita....* Une excursion géologique alpestre en juillet 1881 entre le lac d'Iseo et le lac d'Idro. Brescia. In-8°, 8 p. et 1 carte.

Congrès géologique international. 2e session. Bologne, 1881. — Guide à l'exposition géologique et paléontologique. Bologne. In-18, 60 p. et 2 cartes.

Sella, président d'honneur. Discours à la séance d'ouverture du congrès géologique international, 2e session. Bologne. In-16, 9 p.

Capellini. *Secondo congresso...* Deuxième congrès géologique international à Bologne, 1881. Rapport à S. E. le Ministre de l'agriculture, de l'industrie et du commerce, avec les procès-verbaux des séances et la liste des membres qui y ont pris part. Rome. In-8°, 56 p.

Institut de géologie et de paléontologie à Bologne. Guide aux collections. Bologne. In-18, 5 p. et 1 carte.

Bombicci. *Il gabinetto...* Le cabinet minéralogique de l'Université à Bologne. 2e rapport décennal. Bologne. In-8°, 22 p. et 1 carte.

De Stefani. *Quadro comprensivo...* Tableau général des terrains qui constituent l'Apennin septentrional. Pise. In-8°, 48 p.

—— *Cenni geologici...* Notes géologiques sur les environs de Carrare. Pise. In-8°, 11 p.

—— *L'ufficio geologico...* Le service géologique d'Italie, à propos du projet de loi sur la carte géologique. Sienne. In-8°, 409 p. 1 fr.

Fiorini. *Le proiezioni...* Les projections des cartes géologiques. Bologne. Gr. in-8°, XLIII-703 p. et atlas de 11 pl. in-4°. 20 fr.

Gattoni. *Sul rilievo...* Sur le relèvement par cheminement d'une

ligne polygonale. Casale Monteferrato. In-8°, 52 p. et 2 pl. 2 fr.

Industria petroleifera... Industrie du pétrole en Italie, compagnie italo-française. Milan. In-16, p. 14.

GAMBARI. *Mineralogia...* Minéralogie appliquée aux arts, à l'industrie et à l'agriculture. Milan-Trieste. In-16, x-327 p. 3 fr.

RAGAZZONI. *Profilo geognostico...* Profil géologique du versant méridional des Alpes de Lombardie. Brescia. (Extr. des *Comment. dell' Aten. di Brescia.*)

Bibliografia italiana... Bibliographie italienne d'électricité et de magnétisme ; essai préparé par les ordres du ministre de l'agriculture, de l'industrie et du commerce, par les professeurs *Rossetti* et *Cantoni*, à l'occasion de l'exposition internationale d'électricité à Paris, 1881. Padoue. In-4°, 117 p.

GIACOMELLI. *La fabbricazione...* La fabrication industrielle du sulfure de carbone et ses principales applications. Turin. In-4°, 15 p.

ORLANDO. *Della convenienza...* De la convenance de fabriquer en Italie le fer et l'acier avec les minerais de l'île d'Elbe. Livourne. In-8°, 34 p.

BRUGNATELLA. *Proposta...* Proposition d'une formule nouvelle pour mesurer la hauteur des montagnes au moyen du baromètre. Milan. In-8°, 16 p.

ISAIA. *Ingegnere di miniere. La crisi...* La crise de l'industrie soufrière en Sicile. Palerme. In-8°, 69 p.

MELOSU. *Formula...* Formule pour la somme des *n* inconnues dans un système de *n* équations du premier degré. Cagliari. In-16, 11 p.

ROSSI. *Relazione...* Rapport sur l'importance des mines de charbon de Cana (Toscane). Milan. In-4°, 18 p.

SPINDLER. *Miniere petroleifere...* Mines de pétrole de Terra di Lavoro : rapport sur les produits de la distillation du pétrole de ces mines obtenus dans la raffinerie de San Giovanni Incarico. Milan. In-4°, 3 p.

MENEGHINI. *Della scuola...* De l'école géologique de Paolo Savi ; discours. Pise. In-8°, XLVI p.

SINISCALCO. *Notizie...* Notice sur le Vésuve et la Somma, avec la description des principales éruptions depuis l'an 79 jusqu'à nos jours. Naples. In-8°, 36 p.

TARAMELLI. *La carta geologica...* La carte géologique d'Italie ; discours. Pavie. In-8°, 47 p.

FADDA. *Dei freni...* Des freins continus. Turin. In-8°, 36 p. (Extr. du *Monitore d. strade ferrate.*)

GILETTA. *Intorno al calcolo.* . Sur le calcul des facteurs de probabilité et sur un théorème fondamental de la théorie des moindres carrés. Rome. In-8°, 49 p. (Extr. du *Giorn. d'artigliera e genio.*)

PEANO. *Un teorema...* Un théorème sur les formes multiples. Turin. In-8°, 9 p. (Extr. des *Atti dell' Accad. d. scienze di Torino.*)

FARINET. La percée du grand Saint-Bernard. Aoste. In-8°, 15 p.

GUGLIEMO. *Sulla evaporazione...* Sur l'évaporation de l'eau et sur l'absorption de la vapeur d'eau par l'effet des solutions salines; note. Turin. In-8°, 21 p. (Extr. des *Atti dell' Accad. d. scienze di Torino.*)

PAGLIANI. *Sopra una modificazione...* Sur une modification à la méthode calorimétrique de Kopp et sur la chaleur spécifique de quelques sels organiques; note. Turin. In-8°, 17 p. (Extr. du même recueil.)

PALMIERI. *Storia...* Histoire du Vésuve, avec 30 figures. Naples. 1 fr.

FERRINI e POGLIAGHI. *La luminosita...* L'état lumineux électrique des gaz et la matière radiante. Milan. In-8°, xv-315 p. 6 fr. (Extr. de la *Biblioteca scientifica internazionale.*)

BRUNO. *Sulle coniche...* Sur les coniques qui passent par trois points donnés et sont tangentes à deux droites données; note. Turin. In-8°, 8 p. et 1 pl. (Extr. des *Atti dell' Accad. d. scienze di Torino.*)

ROTONDI. *Ricerche chimiche...* Recherches chimiques sur quelques phosphates; note. Turin. In-8°, 16 p. (Extr. du même recueil.)

ROVELLI. *L'attività...* L'activité séismique du sol italien pendant l'année 1881; causes probables; études. Côme. In-8°, 28 p.

BOTTO. *Di un nuovo sistema...* Sur un nouveau système d'éclairage électrique et sur une nouvelle machine dynamo-électrique à courants continus. Rome. In-8°, 23 p. avec pl.

DE ROSSI. *Carta sismica...* Carte séismique et endodymamique d'Italie et archives pour l'histoire des phénomènes souterrains, conférence. Rome. In-8°, 18 p. (Extr. du *Bolett. d. soc. geogr. ital.*)

PUCCINI. *L'energia...* L'énergie des corps, résumé des leçons de sciences physiques et naturelles. Faenza. In-16, 223 p. 2f,50.

RUFFINI. *Dell' ellissoide...* De l'ellipsoïde de Culmann; mémoire. Bologne. In-4°, 36 p. (Extr. des *Mem. dell' Accad. d. scienze dell' Istit. di Bologna.*)

ZOPPETTI. *Arte...* L'art des mines. Milan. 2 vol. in-8°; XIV-365 p.; XII-455 p. av. 37 pl. 25 fr.

BATTAGLINI. *Sulle forme...* Sur les formes quaternaires bilinéaires. Rome. In-4°, 25 p. 2 fr.

GRATTAROLA. *Mineralogia generale...* Minéralogie générale suivant

J. D. Dana. Tableau synoptique de toutes les espèces connues à la fin de septembre 1881. Florence.

Mazzotto. *Sulle calorie*... Sur les chaleurs d'échauffement et de fusion des alliages facilement fusibles; étude expérimentale. Turin. In-8°, 26 p. et 1 pl.

Terrigi. *Le formazioni*... Les formations volcaniques du bassin romain considérées dans leur constitution géologique et leur gisement. Rome. In-4°, 29 p. et 3 pl. 6 fr.

Fais. *La teoria dinamica*... La théorie dynamique de la chaleur et ses conséquences pour l'état présent et l'avenir de l'univers; discours. Cagliari. In-8°, 55 p.

Le Paige. Sur la forme quadrilinéaire. Turin. In-8°, 23 p.

Naccari. *Sui fenomeni*... Sur les phénomènes thermiques produits par l'étincelle d'induction. Turin. In-8°, 17 p. (Extr. des *Atti dell' Accad. d. scienze di Torino.*)

ANNALES
DES MINES.

DU RÔLE
DES POUSSIÈRES DE HOUILLE
DANS LES ACCIDENTS DE MINES

Par MM. MALLARD, ingénieur en chef, et LE CHATELIER, ingénieur des mines.

Des poussières fines d'un corps combustible mises en suspension dans l'air peuvent y brûler comme le feraient des fragments de la même matière dans un foyer. Mais, par suite de leur division extrême, les poussières présentent avec l'air des surfaces de contact multipliées, et la combustion en est extrêmement vive ; il peut même y avoir explosion, c'est-à-dire production d'effets mécaniques. On connaît un certain nombre d'accidents occasionnés par des explosions de poussières combustibles, notamment dans des raffineries de soufre, des moulins à farine, des ateliers de *broyage* de charbon. Il n'y aurait donc rien d'étonnant à ce que des explosions semblables se produisissent dans les mines de houille.

Cette intervention possible des poussières de houille dans les accidents de mine a été mentionnée pour la première fois en Angleterre par Faraday et Lyell, à l'occasion de l'explosion de Haswell en 1844. « En considérant, disent-ils, l'éten-

due du feu au moment de l'explosion, il n'est pas possible d'admettre que le grisou ait été le seul combustible lui ayant servi d'aliment ; la poussière de charbon soulevée par la violence du courant et de la flamme aura dû prendre feu et brûler si elle a rencontré dans l'air assez d'oxygène pour favoriser la combustion. »

En France, une opinion analogue fut émise, en 1855, par M. du Souich, alors ingénieur en chef des mines de Saint-Étienne, à l'occasion de l'explosion du puits Charles, à Firminy : « On pouvait, dit-il dans son rapport, recueillir en divers points sur les buttes une sorte de croûte composée d'un coke léger qui ne peut provenir que de la poussière de houille balayée dans les chantiers et sur le sol des galeries, et transportées au loin par le courant d'une extrême violence que produit l'explosion. Cette poussière se trouvant en partie enflammée peut continuer les effets du grisou en les portant plus loin. » Quelques années plus tard, en 1861, M. du Souich émettait encore un avis semblable à propos de l'accident du puits du Treuil, et il le répétait en 1867, à l'occasion de l'accident de Villars. Vers la même époque, M. Verpilleux (*) signalait de son côté le rôle que les poussières devaient, suivant lui, jouer dans les explosions.

Ces idées restèrent longtemps sans écho, mais depuis quelques années, un revirement s'est produit et l'attention générale des ingénieurs est fixée aujourd'hui sur ce sujet. L'origine de ce mouvement remonte à une dizaine d'annés ; le signal en a été donné par le rapport de M. Vital sur l'accident de Campagnac, et les expériences intéressantes qu'il entreprit à cette occasion (**) ; le rapport de MM. Desbief et Chansselle (***) et les mémoires de M. Galloway (****).

(*) *Bulletin de la Soc. de l'ind. min.*, 1re s., t. IX, p. 465, 1864.
(**) *Ann. des mines*, 7e s., t. VII, p. 180, 1875.
(***) *Bull. de la Soc. de l'ind. min.*, 2e s., t. IV, p. 205, 1875.
(****) *Proceed. of the Royal Soc. min*, n° 168, *Ann. des mines*,

Depuis cette époque des travaux considérables se sont succédé rapidement en France et à l'étranger : MM. Hall et Clark (*), Marreco et Morison (**), Abel (***), en Angleterre ont continué cette étude au point de vue expérimental ; en France, M. Delafond a adressé à la commission du grisou un rapport important sur le rôle des poussières dans les accidents des mines de Saône-et-Loire (****). Il faut citer encore parmi les auteurs qui ont étudié cette question, MM. Jutier, Burat, de Reydellet, Poumayrac, Baretta, Petitjean.

Le rôle des poussières dans les accidents est pourtant loin encore d'être complètement élucidé. A quelques faits certains sont venues se mêler de nombreuses hypothèses. Une discussion complète de cette question peut donc présenter quelque intérêt ; elle fera l'un des principaux objets du présent mémoire, où nous consignerons les résultats des expériences faites par nous au nom de la Commission du grisou, et qui comprendra quatre chapitres :

Chapitre I. — Étude des phénomènes présentés par les mélanges de poussières avec de l'air non chargé de grisou.

Chapitre II. — Mélanges de poussières avec de l'air tenant une quantité de grisou insuffisante pour former un mélange explosif.

Chapitre III. — Mélanges de poussières avec de l'air te-

7e s., t. XI, p. 229, 1878, et *Bulletin de la Soc. de l'ind. min.*, 2e s., t. VI, 1877 ; même recueil, 2e s., t. VII, p. 617, 1878, et 2e s., t. IX, 1880, p. 157.

(*) *Chesterfield and Derbyshire Institute of mining, civil mechanical Eng.*, avril 1878, et *Bull. ind. min.*, 2e s., t. VII, 1878.

(**) *North of England Instit.*, vol. XXVIII, part. II (1879) et *Ann. des mines*, 7e s., t. XV, p. 374 (1879).

(***) *Ann. des mines*, 7e s., t. XX, p. 1881.

(****) *Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou.*

nant une quantité de grisou suffisante pour former un mélange explosif.

Chacun de ces chapitres sera subdivisé lui-même en trois parties :

I. — Discussion des accidents de mines.

II. — Résumé et discussion des différentes expériences faites jusqu'ici sur les poussières.

III. — Expériences personnelles aux auteurs et faites au nom de la commission du grisou.

Enfin un *quatrième et dernier chapitre* traitera des précautions à prendre contre les poussières.

CHAPITRE I.

MÉLANGES DE POUSSIÈRES AVEC DE L'AIR NON CHARGÉ DE GRISOU.

I

ACCIDENTS DE MINES

Un certain nombre d'accidents ont été attribués à la combustion des poussières seules. Ils peuvent se ranger en trois catégories bien distinctes suivant que la source de chaleur qui a provoqué l'inflammation est :

1° La flamme d'une lampe;
2° Un coup de mine;
3° Un coup de grisou local.

§ 1.

Inflammation des poussières par la flamme d'une lampe.

Puits Montmartre (1869) (*).

Dans un chantier très poussièreux, une coulée de menus souleva un nuage qui s'enflamma à une lampe à feu nu et donna une langue de 7 à 8 mètres de longueur. Deux ouvriers furent légèrement brûlés; il n'y eut pas d'explosion proprement dite.

On n'avait *jamais* constaté de grisou dans cette mine où l'on avait toujours travaillé avec des lampes à feu nu.

Le chantier où l'accident s'est produit était tellement poussiéreux que *toutes* les dix *minutes* les ouvriers étaient obligés d'en sortir pour aller respirer dans les courants d'air.

Cet accident est certainement dû aux poussières, puisqu'il n'y avait *jamais* eu de grisou dans la mine et que les témoins de l'accident ont vu le nuage de poussière se soulever et s'allumer. Du reste, la flamme s'étant montrée sous la forme d'une langue de feu isolée dans la galerie ne peut provenir du grisou, qui aurait simplement donné une nappe de feu au toit.

Puits Montmartre (1869).

Un second accident analogue au précédent se produisit quelque temps après au même puits, mais à la surface. Un nuage de poussière soulevé par un culbuteur vint s'allumer à un quinquet et brûla légèrement un ouvrier qui se trouvait à un mètre du point d'inflammation.

(*) *Bulletin de la Soc. de l'industrie minérale*, 2e s., t. IV, 1875, p. 221. — Rapport de MM. Desbief et Chansselle.

Des accidents analogues se sont produits à différentes reprises soit au fond, soit au jour, dans le Gard, à Commentry, à Anzin, etc.

On peut immédiatement, de l'étude de ces accidents, tirer quelques conséquences intéressantes.

On voit d'abord que des poussières en suspension dans l'air pur peuvent former des mélanges combustibles. Ce fait a été nié par divers auteurs ; nous montrerons plus tard que cette erreur provient de la nature particulière des poussières qu'ils avaient employées dans leurs expériences.

Mais, d'autre part, la proportion des poussières qui existe normalement dans l'air d'un chantier, même très poussiéreux, est insuffisante pour donner un mélange combustible. Ces accidents se sont produits en des points naturellement très poussiéreux où l'on travaillait depuis longtemps avec des lampes à feu nu qui n'avaient jamais occasionné d'inflammation. Il a fallu que l'intervention d'une action mécanique particulière vînt soulever une quantité de poussière assez grande pour donner un mélange combustible.

La combustion, du reste, est toujours restée limitée à certaines parties du nuage de poussières soulevé, vraisemblablement à celles qui étaient les plus denses.

Enfin, la combustion n'a jamais, ni dans l'un ni dans l'autre cas, été accompagnée d'explosion ; il n'y a pas eu mort d'homme. Les blessés en ont été quittes pour quelques brûlures.

§ 2.

Inflammation de poussières occasionnée par un coup de mine.

Campagnac (Aveyron) (2 novembre 1874) (*).

Dans un chantier en cul-de-sac un coup de mine tiré au

(*) *Annales des mines*, 7e s., t. VII, 1875. — Mémoire de M. Vital.

ras du sol et doublement chargé après un premier raté, débourra et alla brûler, à 30 mètres de distance, des ouvriers qui moururent huit jours après des suites de leurs blessures ; la charge de poudre totale était de 250 à 300^g. Les ouvriers déclarèrent avoir vu s'avancer sur eux une flamme rouge remplissant toute la galerie. Ils furent surtout brûlés aux parties inférieures du corps; des fils à plomb suspendus au travers de la galerie ne furent détruits que dans le bas. Après l'accident on trouva des croûtes de coke sur les parois et sur les boisages.

Jamais on n'avait vu de grisou dans ce chantier ; on y travaillait à feu nu. Pourtant il existait en d'autres points de la mine de légers soufflards ; des explosions de grisou s'étaient produites en 1872 et 1874. A la suite de ces accidents on avait prescrit l'emploi de lampes de sûreté pour les travaux en cul-de-sac ; on ne s'en servait pas dans ce chantier par infraction aux règlements.

Le sol du chantier était couvert d'une couche de menus et de poussières ayant 5 centimètres d'épaisseur. Ces poussières donnaient à la distillation 33 o/o de gaz. Des expériences de laboratoire, dont nous parlerons plus loin, ont montré que leur mélange avec l'air seul était combustible.

Les faits précédents semblent indiquer assez nettement un accident dû aux poussières : la mine était peu grisouteuse, le chantier ne l'était pas et il n'y avait pas de vieux travaux au voisinage du point où l'accident s'est produit ; les poussières étaient abondantes et facilement combustibles ; les effets calorifiques les plus intenses se sont produits au voisinage du sol. Néanmoins la mine était grisouteuse et les moyens de reconnaître le grisou sont encore si imparfaits, qu'on ne peut affirmer que le grisou n'ait joué aucun rôle dans cet accident ; cela est cependant extrêmement vraisemblable.

On peut chercher à se faire une idée du volume d'air et de poussières qui a brûlé dans cet accident, volume qui

est nécessairement bien inférieur à celui qu'a occupé la flamme. En calculant la dilatation des gaz correspondant à une température de 1.000 degrés seulement, on trouve qu'une flamme de 25 mètres de longueur suppose une inflammation du mélange sur une longueur de 5 mètres seulement. Cette longueur est peu supérieure à celle que doivent parcourir les gaz enflammés de la poudre.

Puits Sainte-Marie des mines de Blanzy (Saône-et-Loire) (7 février 1871) (*).

Deux ouvriers travaillaient à creuser une cheminée à l'extrémité d'une traverse de 6 mètres de longueur. Ils étaient arrivés à la profondeur de 6m70. Un coup de mine ayant raté, ils le débourrèrent et mirent une seconde charge. Le coup débourra. On entendit deux explosions successives et les ouvriers qui étaient à 8m de l'ouverture de la cheminée furent brûlés. L'un d'eux mourut quelques jours après des suites de ses blessures. Après l'explosion on trouva des croûtes de coke boursoufflées sur les bois de la traverse et de la galerie principale jusqu'à 12m de l'orifice de la cheminée.

On n'a jamais vu de grisou en ce point ni avant. ni après l'accident, et au commencement du poste le maître mineur avait constaté l'absence du gaz. L'orifice de la cheminée était à 6m du courant d'air principal et la ventilation se produisait sur cette longueur par simple diffusion; cette cheminée devait d'autre part aller percer dans de vieux travaux où l'on craignait de rencontrer beaucoup de gaz. Un sondage de 1m,50 était poussé en avant, il n'avait pas encore percé et on l'avait bouché avec un tampon en bois qui était resté en place après l'accident; il n'avait donc pu sortir de gaz de ce côté. Néanmoins il faut dire que

(*) *Bulletin de l'industrie minérale, loc. cit.* — Rapport de MM. Deshief et Chansselle.

les couches du puits Sainte-Marie sont grisouteuses; des accidents importants s'y sont produits à différentes reprises.

Le charbon fournit beaucoup de gaz à la distillation et donne des poussières facilement inflammables. Il devait y en avoir une couche épaisse déposée sur tous les cadres de la cheminée.

Aucune visite ne paraît avoir été faite immédiatement avant l'allumage du coup de mine ; le maître mineur en avait seulement fait une avant le commencement du poste. L'absence du gaz avait d'ailleurs été constatée, comme d'habitude, à la lampe ; il pouvait donc y en avoir en tout temps de 2 à 4 p. 100, et cette proportion n'aurait même eu rien d'étonnant dans une couche de houille grisouteuse. L'absence de grisou n'est donc pas démontrée d'une façon certaine, et il est possible que l'on se trouve en présence d'un simple accident de grisou.

Puits Saint-Camille, à la Péronnière (Rive-de-Gier)
(6 juillet 1872) (*).

Deux ouvriers travaillant à un dépilage avaient pratiqué un trou de mine à 1 mètre de hauteur et l'avaient chargé de 6 cartouches contenant ensemble 200 à 220 grammes de poudre. Ils se retirèrent à 10 mètres de distance dans une direction opposée à celle du coup de mine. Celui-ci débourra et les deux hommes furent légèrement brûlés. Après l'accident on observa quelques croûtes de coke.

On n'a jamais vu de grisou dans ce quartier ni avant ni après l'accident. Et comme on était à la fin d'un dépilage il est à peu près certain que le massif de houille ne devait plus dégager de gaz, quand même cela aurait eu lieu à l'origine.

(*) *Bulletin de l'industrie minérale, loc. cit.*

Il y avait sur le sol une couche de poussières assez épaisse.

Cet accident doit donc très vraisemblablement être attribué uniquement aux poussières; les conclusions à en tirer sont les mêmes que celles que nous avons tirées de l'accident de Campagnac, en remarquant toutefois que les effets produits ont été bien moins considérables.

La Béraudière (Loire) (*).

Un accident s'est produit au moment où l'on prenait la dernière tranche d'un étage de 62 mètres de hauteur. Un ouvrier fut brûlé à 12 mètres de son chantier en faisant partir un coup de mine chargé de 250 grammes de poudre. On n'avait jamais vu de grisou dans cette exploitation : on est donc bien en présence d'un accident de poussières; les conclusions à en tirer sont les mêmes que celles tirées des accidents précédents.

Fowler, à Pontypridd, près Cardiff (Angleterre) (21 octobre 1871) (*).

Deux piqueurs travaillaient dans un chantier en remonte qui devait mettre en communication deux niveaux différents. Un coup de mine chargé de 700 grammes et plongeant vers le sol débourra. Les ouvriers furent brûlés plus ou moins grièvement, mais aucun d'eux ne mourut des suites de ses blessures. Les traces de la flamme s'étendirent sur une longueur de 50 mètres. Il n'y eut pas d'explosion ni d'effets mécaniques produits; les boisages et la cloison d'aérage qui séparait en deux le chantier restèrent intacts; une benne chargée ne fut pas déplacée.

(*) *Bulletin de l'industrie minérale*, loc. cit.

(**) *Bulletin de l'industrie minérale*, 1878, p. 651. — Mémoire de M. Galloway, traduit par M. Chansselle.

La mine était grisouteuse; aussi tous les ouvriers étaient munis de lampes de sûreté, les coups de mines étaient allumés par des agents spéciaux, des *firemen*. Mais la ventilation dans le chantier était assez active pour qu'on n'y constatât nulle part la présence du grisou ni avant ni après l'accident. Cela prouve qu'il n'y avait pas une quantité de gaz suffisante pour faire marquer la lampe; il devait néanmoins y en avoir un peu, car on était à 238 mètres du puits d'aérage et l'air avait parcouru déjà six chantiers en longwall. M. Galloway fit après l'accident une expérience spéciale pour déterminer la proportion de grisou qui pouvait se trouver dans ce chantier. Un samedi, après la sortie des ouvriers, on éteignit le foyer, le courant d'air se mit alors à diminuer progressivement au fur et à mesure que la température du puits baissait. Le lendemain matin la ventilation générale étant réduite au cinquième de sa valeur primitive, la lampe commença à marquer. Cela indiquait, d'après les calculs de M. Galloway, que la quantité de grisou traversant le chantier en une seconde était de 16 litres, soit 0,54 p. 100 du volume d'air. En d'autres points de la mine il s'était produit d'abondants mélanges explosifs.

Le sol du chantier était couvert de menus et la poussière formait une couche de 30 centimètres d'épaisseur. Ce charbon donnait à la distillation 20 p. 100 de matières volatiles.

Il est impossible d'après les renseignements précédents de décider quelle est la nature de l'accident; le charbon était très grisouteux, on était en plein abattage et il a pu se former quelque accumulation du gaz, par exémple dans les vides de la couche de menus déposée sur le sol. Du charbon fraîchement abattu continue à dégager du gaz qui ne peut pas se diluer immédiatement dans l'air, surtout si le charbon est poussiéreux et forme des tas un peu compacts. Le chiffre de 0,54 p. 100 déterminé par M. Galloway

a été déterminé vingt heures après que l'abatage avait cessé ; ce chiffre n'apprend donc rien sur la quantité de gaz qui se dégageait pendant le travail. Il est certain d'autre part qu'un coup de mine fortement chargé, débourrant et venant frapper sur un sol couvert de menus, réalise les conditions les plus favorables pour l'inflammation des poussières.

Quoi qu'il en soit, si cet accident est réellement un accident de poussières, il mène exactement aux mêmes conclusions que les précédents. La flamme s'est seulement étendue à une distance un peu plus considérable, à cause de l'énormité de la charge de poudre qui s'élevait à 700 grammes.

Trelys (Gard) (15 janvier 1875).

Un coup de mine chargé de 3 cartouches débourra ; une cartouche fut projetée aux pieds des ouvriers. L'un d'eux fut tué sur le coup, et deux autres, seulement blessés. On trouva après l'accident quelques croûtes de coke.

La mine n'était pas grisouteuse.

Trelys (Gard) (mars 1875).

Un accident analogue au précédent se produisit sans qu'il y eût personne de blessé.

Accident du puits de Brassac, concession de Robiac (30 juin 1866).

Cet accident s'est produit à une échelle intérieure dans un endroit très poussiéreux, il a été occasionné par l'inflammation de boîtes de poudre contenant ensemble 5 kilogrammes de poudre ; 9 ouvriers périrent, 2 brûlés et 7 asphyxiés. On retira encore 13 autres ouvriers asphyxiés ; mais ils purent être conservés à la vie, grâce à la rapidité

avec laquelle le sauvetage fut organisé. Il y eut cinq portes d'aérages brisées; on trouva après l'accident des croûtes de coke sur les boisages. La mine était un peu grisouteuse, mais on n'avait pas vu de gaz avant l'accident.

On a considéré cet accident comme dû principalement aux poussières, à cause de la présence des croûtes de coke et du pouvoir asphyxiant du gaz. Il est bien certain que les poussières ont dû jouer un rôle, mais vraisemblablement tout à fait secondaire. La quantité de poudre brûlée et la rupture des portes d'aérage suffisent pour rendre compte du nombre d'ouvriers asphyxiés. La détonation de 5 kilogrammes de poudre de mine fournit en effet 300 litres d'oxyde de carbone qui peut rendre délétère un volume 300 fois plus considérable, soit en nombre rond 100 mètres cubes d'air. La production d'un aussi grand volume de gaz irrespirable accompagnant un arrêt de l'aérage, dû à la rupture des portes, suffit donc pour expliquer l'importance de l'accident. Les poussières ont ajouté leur effet à celui de la poudre, mais n'y aurait-il pas eu de poussières, il est probable que l'accident aurait encore fait plusieurs victimes.

Sainte-Geneviève (Aveyron) (4 septembre 1877).

Un coup de mine de 127 grammes bourré avec de fines poussières débourra et brûla deux ouvriers situés à 10 mètres de là. On n'avait jamais vu de grisou dans le quartier où s'est produit l'accident.

Aubigny-les-Ronces (17 décembre 1880).

Un coup de mine bourré avec de la poussière brûla très légèrement un ouvrier.

On n'avait jamais vu de grisou dans cette mine.

Conclusions. — En considérant tous les accidents précédents comme dus aux poussières, bien que pour quelques-uns d'entre eux l'absence du grisou ne soit pas pleinement démontrée, on peut formuler les conclusions suivantes.

Ce sont toujours des coups de mine ayant débourré qui ont occasionné ces accidents, et le plus souvent ces coups de mines avaient été creusés au ras du sol et fortement chargés.

Ces combustions de poussières n'ont jamais été accompagnées d'explosions proprement dites et ne se sont jamais propagées à une grande distance. Les brûlures qu'elles ont produites n'ont jamais entraîné immédiatement mort d'homme.

Enfin, le nombre des accidents de cette nature est extrêmement petit, bien que les causes qui les ont amenés se reproduisent très fréquemment.

§ 3.

Explosions de poussières provoquées par un coup de grisou local.

Tous les accidents attribués à cette cause se sont produits dans des mines très grisouteuses; il est impossible, ainsi qu'on va le voir, d'affirmer que l'intervention du grisou seul ne suffit pas pour les expliquer.

Puits du Treuil (Loire) (1861).

Cet accident s'est produit un dimanche dans l'après-midi, peu après la descente du poste de nuit. Presque tous les ouvriers se trouvant dans la mine ont été tués; l'explosion a occasionné de nombreux éboulements. On n'a pas connu avec une entière certitude la cause de l'accident, mais on a supposé qu'une lampe trouvée ouverte avait pu mettre le

feu. Les dégâts les plus considérables ont été produits dans la partie supérieure des travaux qui étaient en traçage. Cette mine était exploitée par grands piliers que l'on recoupait ensuite au moyen de remontes poussées à partir du niveau inférieur.

La ventilation était naturelle et devait être très faible le jour de l'accident, qui était un des plus chauds de l'été. Les chantiers tous en remonte étaient aérés uniquement par diffusion. Le dimanche, lorsqu'il n'y avait pas d'ouvriers dans la mine et par suite pas de mouvement dans les chantiers, cette diffusion était nécessairement très restreinte.

La mine était grisouteuse ; mais elle ne l'était pas à un point excessif, puisqu'il était possible de l'exploiter avec une organisation de l'aérage aussi imparfaite.

Après l'accident, de nombreuses croûtes de coke furent trouvées sur les boisages et contre les parois des galeries.

Pour expliquer cet accident on a supposé qu'un ouvrier porteur d'une lampe à feu nu avait pénétré dans un chantier et allumé le mélange explosif accumulé au sommet. Cette explosion initiale aurait soulevé et allumé des nuages de poussières qui auraient propagé le feu dans toute la mine. Bien des caractères pourtant semblent indiquer une explosion de grisou, plutôt qu'une explosion de poussières. La mine était grisouteuse, la ventilation était faible, l'explosion fut assez violente pour occasionner de nombreux éboulements; le feu fut le plus violent dans les travaux en traçage qui sont toujours les plus grisouteux et les moins poussiéreux. Le seul motif que l'on puisse donner en faveur des poussières est la faible quantité de gaz que l'on voyait habituellement dans les galeries principales, mais s'il y avait peu de gaz dans les galeries, il y en avait au sommet de tous les chantiers, et les remblais qui les environnaient pouvaient encore être des réservoirs de gaz assez importants, qui ont pu se vider dans les galeries sous l'influence

d'une faible explosion initiale. Au moment où l'accident s'est produit il n'y avait pas d'ouvriers depuis vingt-quatre heures dans la mine, on ne sait donc pas si les galeries principales elles-mêmes n'avaient pas été envahies par le gaz, par suite du défaut de ventilation.

Puits Cinq-Sous, à Blanzy (Saône-et-Loire) (12 décembre 1867) (*).

L'accident eut lieu dans un quartier très vaste primitivement exploité par la méthode des grandes chambres sans remblais. Cette méthode appliquée dans une couche de 12 mètres de puissance avait produit de grands vides où se déclaraient souvent des incendies. Pour remédier à cet état de choses on avait commencé depuis quelque temps à remblayer avec beaucoup de soin, mais malgré cela on luttait difficilement contre le feu.

Le champ d'exploitation était divisé en quatre quartiers aérés successivement par un même courant d'air ; le quartier de la descenderie consistait en un traçage en cul-de-sac descendant en vallée au-dessous du niveau de 200 mètres. Le quartier du nord était formé par le dépilage d'une grande tranche horizontale située entre les niveaux 200 et 188. Aux étages 170 et 165 on déhouillait une première tranche de houille.

Le 12 décembre 1867, à 11 heures du matin, une violente explosion se produisit ; tous les ouvriers du quartier nord et de la descenderie furent tués, sauf deux qui travaillaient dans un chantier en cul-de-sac, voisin de la descenderie et ne s'aperçurent de rien. A l'étage 170, tous les ouvriers succombèrent également. A l'étage 165 ils échappèrent presque tous.

L'explosion paraît avoir pris naissance dans le quartier

(*) Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou. T. II. — Rapport de M. Delafond.

de la descenderie; cela semble résulter de la position des chariots après l'accident; elle indique en effet l'existence de deux courants de flamme en sens opposés qui sont partis de l'origine de la descenderie pour se diriger dans la voie de niveau 200, l'un vers le puits, l'autre vers le quartier nord; c'est aussi dans ce quartier de la descenderie que la violence de l'explosion a été la plus considérable.

Parmi les ouvriers qui avaient succombé, les uns étaient brûlés, les autres asphyxiés. Dans tous les chantiers de la descenderie, sauf un, et dans les chantiers nord en cul-de-sac ils ont été asphyxiés; dans les chantiers non en cul-de-sac ils ont été brûlés.

Après l'explosion on trouva des croûtes de coke qui sur certaines parois atteignaient 15 millimètres d'épaisseur; elles se montraient surtout dans le quartier de la descenderie. La voie de roulage du niveau 200 qui fut parcourue par la flamme dans toute sa longueur en était à peu près exempte. Dans les chantiers en cul-de-sac les croûtes de coke s'arrêtaient à 5 ou 6 mètres du front de taille.

La ventilation étant naturelle, un seul courant d'air traversait successivement tous les quartiers. Le grisou avait toujours été très abondant dans cette region et avait occasionné déjà plusieurs accidents.

Le 23 avril 1851 une explosion tua cinq hommes au niveau 200. Les ouvriers travaillaient habituellement la tête dans le grisou.

Le 29 septembre 1853 une explosion se produisit au niveau 215 et tua tous les ouvriers, au nombre de onze, employés en ce point. Les travaux étaient en cul-de-sac et le grisou très abondant. Cette exploitation fut abandonnée à la suite de cet accident. On essaya de la reprendre en 1860, mais le grisou était très abondant, des incendies se déclarèrent, et l'on abandonna encore les travaux. On tenta de nouveau de la reprendre en 1867; c'est alors que se produisit l'accident décrit ici.

Enfin, un quatrième accident, que nous décrirons plus loin, s'est produit au niveau 259 et a tué 41 ouvriers.

Les points de départ de tous ces accidents, comme le fait remarquer M. Delafond, forment un groupe bien défini ; ils sont tous situés au voisinage de la faille dite de l'Est.

Avant l'accident, le grisou s'était montré peu abondamment dans la descenderie et dans le quartier nord. On venait d'ouvrir dans la 9e tranche un chantier en cul-de-sac dans du charbon anciennement éboulé et donnant du grisou. Il existait, autour et au milieu des travaux, des remblais et des chambres d'éboulement qui pouvaient former des réservoirs de gaz importants. Le charbon exploité était très poussiéreux et très facilement inflammable. Dans le dépilage de la 2e tranche, les voies étaient couvertes de 10 centimètres de poussières.

Cet accident fut attribué, pour sa majeure partie au moins, aux poussières ; la faible quantité de gaz reconnue avant l'accident ne paraissait pas suffisante pour expliquer l'étendue de l'explosion.

Mais l'absence du grisou est loin d'être démontrée. Cette région était éminemment grisouteuse, comme le prouvent surabondamment les accidents dont elle avait déjà été le théâtre ; elle était entourée de réservoirs de gaz (chambres d'éboulement, etc.) ; enfin, si le grisou était peu abondant dans les chantiers, on en avait, néanmoins, reconnu la présence à la lampe dans les deux centres principaux de l'exploitation ; il y en avait donc là au moins 4 p. 100.

Les effets de l'explosion témoignent bien aussi de l'intervention du grisou. La flamme parcourut un très grand nombre de chantiers en cul-de-sac. On ne peut admettre que cette flamme provienne de la combustion des poussières, car pour brûler il faut que celles-ci soient mises d'abord en suspension par un courant d'air violent. Ce courant ne peut se produire dans un chantier en cul-de-sac que par

suite de la combustion du mélange gazeux qu'il renferme, et encore ce courant ne sera-t-il assez intense, pour produire l'effet nécessaire, qu'à une certaine distance de l'extrémité du cul-de-sac. C'est là ce qui explique l'absence de croûtes de coke sur les 5 ou 6 derniers mètres.

La violence de l'explosion, les éboulements produits dans la descenderie indiquent bien aussi un accident de grisou, car d'après tous les faits notés d'une façon certaine les poussières ne donnent pas d'explosion proprement dite, la vitesse de propagation de la flamme y étant trop faible.

Cependant si le grisou a joué le rôle principal, on pourrait être étonné que les ouvriers, travaillant au fond des chantiers en cul-de-sac où il devait y avoir le plus de gaz, n'aient pas été brûlés le plus fortement. La raison en est, qu'un mélange gazeux, lorsqu'il brûle en repos, ne cède qu'une quantité de chaleur relativement faible aux corps solides avec lesquels il est en contact, car l'équilibre de température final dépend du rapport des masses mises en présence. Si, au contraire, le corps gazeux en ignition est en mouvement et se renouvelle au contact des corps solides, les masses entre lesquelles l'équilibre de température s'établit deviennent comparables, et le corps solide pourra s'échauffer considérablement ou même être brûlé.

L'expérience suivante que nous avons faite involontairement met bien ce fait en évidence. Nous faisions des expériences sur les lampes de sûreté; une conduite en bois de 2 mètres de longueur et $0^{m}.30$ de côté était traversée par un courant de mélange explosif au milieu duquel on plaçait la lampe. En arrière de la lampe se trouvait une toile métallique qui devait arrêter la flamme et l'empêcher de remonter dans la caisse. Pour plus de sûreté, l'autre extrémité de cette caisse était fermée par une feuille de papier qui devait faire soupape dans le cas bin improbable où une explosion se produirait en ar-

rière de la toile. Une fausse manœuvre amena ce résultat; le feu remonta jusqu'à l'extrémité de la caisse et les gaz allumés continuèrent à sortir à travers la toile métallique. Cette toile métallique, au contact d'un gaz en ignition se renouvelant rapidement, fut complètement fondue, il n'en resta plus trace. A l'autre extrémité, la feuille de papier, au contact du même gaz en ignition, mais immobile, fut seulement roussie.

Cette discussion semble montrer d'une façon bien probable que dans la descenderie on a eu affaire à une explosion de grisou qui a pu ensuite soulever et faire brûler ou distiller une certaine quantité de poussières.

Dans le quartier nord l'intervention du grisou n'est pas aussi bien démontrée; elle est du moins tellement vraisemblable et les preuves de l'intervention exclusive des poussières font si complètement défaut qu'il n'y a pas lieu de chercher une explication différente pour les deux centres principaux de l'accident. Il pouvait ne pas y avoir là de grisou avant l'accident; mais la commotion produite par l'explosion de la descenderie a été largement suffisante pour jeter dans les travaux une partie des gaz renfermés dans les vieux travaux où il y en avait certainement, comme l'avait montré l'ouverture d'un chantier dans la 9[e] tranche au milieu d'anciens éboulements. Il ne faut pas oublier non plus que l'on n'a pas trouvé de croûtes de coke dans la galerie de niveau 200, que la flamme a suivie dans toute sa longueur pour aller de la descenderie au quartier nord.

Puits Cinq-Sous, à Blanzy (Saône-et-Loire)
(8 novembre 1872) (*).

A la suite de l'accident précédent, on abandonna les tra-

(*) Pièces annexes de la commission du grisou, T. II. — Rapport de M. Delafond.

vaux situés entre les niveaux 200 et 165 et l'on créa un nouvel étage d'exploitation entre les niveaux 229 et 259. Au niveau 259 on avait déjà enlevé une première tranche horizontale dans la région nord et on commençait à attaquer la deuxième tranche. Il ne restait dans la première tranche qu'à déhouiller un petit prisme au mur de la couche. Un seul ouvrier travaillait en ce point dans un cul-de-sac. situé à 23 mètres du courant d'air ; il alluma un coup de mine malgré la défense qui lui en avait été faite. Aussitôt une forte explosion se produisit qui fut immédiatement suivie d'une seconde. Le feu parcourut toute la galerie de niveau tuant 41 ouvriers et n'en épargnant que 8.

On ne trouva après l'accident que des traces de coke sur les boisages.

Le point de départ de l'explosion se trouve, comme pour la précédente, au voisinage de la faille de l'Est. En ce point la couche est très disloquée et avait donné pendant le traçage et même pendant le dépilage de fréquents dégagements de grisou; aussi le tirage à la poudre avait-il été interdit. Mais le jour de l'accident on n'avait vu nulle part de gaz ; une visite avait été faite au chantier où le coup de mine fut tiré une demi-heure avant l'accident. Après le coup de feu on constata quelques traces de grisou dans les vides qui surmontaient le boisage. — Cependant un chef de poste échappé à la catastrophe dit avoir vu la flamme passer au-dessus de sa tête, caractère bien connu de la flamme du grisou.

La mine était poussiéreuse, mais le sol des galeries avait été arrosé la nuit précédente.

L'absence de croûtes de coke, la présence du grisou après l'accident et la flamme se montrant au toit indiquent bien nettement que l'on est en présence d'un accident de grisou. On a soutenu la thèse que si les croûtes de coke démontrent l'influence des poussières, leur absence est plus concluante encore, car elle montre que les poussières ont

brûlé complètement et par conséquent ont produit une action beaucoup plus énergique que si elles avaient simplement distillé. Cette thèse ne nous paraît pas soutenable un instant; l'expérience montre en effet que pour qu'un mélange de poussière et d'air soit combustible, il faut qu'il contienne une proportion de poussières bien supérieure à celle que l'air peut entièrement brûler. M. Galloway a trouvé que la proportion la plus convenable était d'un kilog. de poussières pour un mètre cube d'air, tandis que la proportion correspondant à la combustion complète est de 100 grammes environ.

Du reste un mélange de poussière et d'air ne peut pas être homogène; il y aura toujours des points où la poussière sera en excès, et où il se formera des croûtes de coke. L'absence de ces dépôts de coke prouve donc d'une façon certaine la non-combustion des poussières.

Puits de la Garenne, à Épinac (Saône-et-Loire) (17 avril 1871) (*).

On traçait un nouvel étage d'exploitation au moyen de deux galeries de direction, située l'une au niveau 459, l'autre au niveau 452. De ces niveaux partaient des montages et descenderies en cul-de-sac. L'accident se produisit le lundi matin 17 avril aussitôt après la descente des ouvriers. Ils furent trouvés tous morts au nombre de dix, dans le niveau 459. Sur leurs dix lampes, cinq furent retrouvées détamisées; quatre avaient encore leur tamis et une ne fut pas retrouvée du tout. Les dégâts matériels furent considérables. On trouva après l'explosion d'épaisses croûtes de coke.

La mine était aérée naturellement; les avancements et les montages étaient tous grisouteux. On avait dû dans

(*) Pièces annexes de la Commission du grisou, T. II. — Rapport de M. Delafond.

l'un d'eux installer un ventilateur à bras; à la suite du repos du dimanche, ce montage était nécessairement plus ou moins rempli de gaz.

On a supposé, à cause de la présence des croûtes de coke, que dans cet accident le principal rôle appartenait aux poussières. Nous croyons que les circonstances montrent avec évidence que ce rôle doit être attribué au grisou. Les ouvriers se rendaient tous ensemble au travail avec des lampes détamisées c'est-à-dire à feu nu; ils auront pu suivre sans encombre le niveau qui était ventilé, puis l'un d'eux entrant dans son chantier, y aura trouvé un mélange explosif accumulé depuis le samedi et l'aura allumé, ou peut-être simplement aura-t-il fait marcher le ventilateur à bras et rejeté dans le niveau le mélange explosif.

Llann, près Cardiff (Angleterre) (6 décembre 1875) (*).

L'explosion se produisit dans un niveau en cul-de-sac de 50 mètres de longueur. Ce niveau avait une galerie de retour d'air parallèle, mais elle s'était éboulée et ne laissait plus du tout arriver d'air. On était occupé à enlever les piliers qui séparaient les deux galeries et se trouvaient en amont de celle restée libre; les chantiers étaient poussés jusqu'au point où l'on arrivait au charbon éboulé. Les ouvriers se servaient de lampes à feu nu. Dans cette explosion douze hommes furent tués et cinq grièvement blessés. Un de ceux qui furent sauvés déclara avoir vu la flamme passer au-dessus de sa tête. La flamme s'est étendue sur 294 mètres de longueur de galeries. Les effets mécaniques furent relativement faibles. Il se forma une grande quantité de croûtes de coke dont l'épaisseur en certains points atteignit 25 millimètres. La cause de l'accident est restée inconnue,

(*) *Bulletin de l'industrie minérale*, 1877, p. 806-822.
Id., 1878, p. 827. — Mémoire de M. Galloway.

mais très vraisemblablement une lampe a feu nu a allumé un amas de mélange explosif qui existait en un point quelconque.

On n'avait pas vu de grisou dans les chantiers une heure avant l'accident, mais on en avait vu à plusieurs reprises les jours précédents et l'on en vit encore le lendemain. Trois jours plus tard deux chantiers se remplirent de grisou jusqu'au niveau à la suite d'un éboulement du toit. La ventilation de la mine était naturelle; le bout de galerie, point de départ de l'explosion, était aéré seulement par diffusion sur 50 mètres de longueur. Les ouvriers avaient des lampes de sûreté pour faire la visite de leur chantier avant d'y rentrer, et y travaillaient ensuite à feu nu.

La houille qui donnait à la distillation 30 p. 100 de matières volatiles devait former des poussières facilement inflammables.

Cet accident a été attribué pour la majeure partie aux poussières à cause de la formation de croûtes de coke, de la faiblesse de l'explosion et de l'absence de grisou reconnue une heure avant l'explosion.

La formation des croûtes de coke prouve simplement, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, qu'il y a eu une combustion vive, mais ne peut apprendre en aucune façon si ce sont les poussières ou le grisou qui ont provoqué l'explosion.

L'absence de grisou avant l'accident, si elle a été bien sérieusement constatée ne prouve pas que plus tard il n'y en ait pas eu. La région était grisouteuse, mal ventilée, par conséquent, les éboulements situés en amont de la galerie devaient être plus ou moins remplis de gaz. Une venue subite de grisou a pu se produire comme cela est arrivé trois jours plus tard. Le témoignage d'un des ouvriers retirés vivants qui a vu la flamme passer sur sa tête ne s'accorde pas avec une combustion de poussières qui au-

rait donné les effets calorifiques les plus intenses au voisinage du sol.

Il faut remarquer d'ailleurs que l'absence ou la faiblesse de l'explosion est bien un caractère commun à tous les accidents dus à une combustion de poussières, mais que la réciproque n'est pas vraie. Le grisou lui aussi peut brûler sans donner d'explosion. Une combustion est explosive quand l'inflammation se propage dans toute la masse avec une vitesse suffisante. Nous avons reconnu par de nombreuses expériences de laboratoire que la vitesse de propagation de la flamme dans les mélanges de grisou et d'air peut varier d'un décimètre à une centaine de mètres par seconde. Ces différences tiennent principalement à l'agitation du mélange gazeux pendant la combustion. La combustion du grisou sera donc explosive ou non suivant les circonstances. Une expérience très simple met bien nettement un fait en évidence. Un tube en verre de 2 mètres de longueur et 3 centimètres de diamètre, fermé à une de ses extrémités est rempli d'un mélange explosif de grisou. En mettant le feu à l'extrémité ouverte on voit la flamme avancer lentement dans le tube, elle met environ 3 secondes à le parcourir dans toute sa longueur, il n'y a pas d'explosion. En l'enflammant au contraire à l'extrémité fermée par une étincelle électrique la flamme traverse tout le tube en un temps inappréciable à l'œil et inférieur à un dixième de seconde; il se produit une violente explosion comparable à un coup de fusil. Si donc dans une galerie en cul-de-sac remplie de grisou, un ouvrier arrive avec une lampe à feu nu et par conséquent allume le gaz à l'extrémité libre, il n'y aura pas d'explosion. Si, au contraire, un ouvrier ayant pénétré au fond de la galerie avec une lampe de sûreté vient à ouvrir celle-ci, il se produira une explosion extrêmement violente. On voit ainsi que l'absence d'explosion est un caractère négatif qui ne peut rien apprendre.

Cet accident nous paraît rentrer dans la catégorie, malheureusement la plus nombreuse, des explosions de grisou, celles avant lesquelles on ne se méfiait pas de la présence du gaz et après lesquelles on manque de renseignements par suite de la mort des principaux témoins.

Pelton (Angleterre) (1866) (*).

Un ouvrier travaillait seul dans un chantier qui allait percer dans des travaux voisins ; une explosion violente se produisit lorsqu'il eut établi la communication et trente-quatre hommes furent tués. On trouva de nombreuses croûtes de coke.

La couche était connue comme grisouteuse par place, mais la ventilation était bonne. Le matin de l'explosion on avait constaté la présence d'un mélange explosif au sommet d'un éboulement dans le chantier où s'est produit l'accident. On avait recommandé à l'ouvrier de mettre à l'écart sa lampe au moment du percement pour éviter de la soumettre au courant gazeux trop rapide qui pouvait se produire au moment du percement.

On a considéré cet accident comme dû aux poussières. Mais la présence du gaz avait été reconnue au sommet d'un éboulement et cet éboulement lui-même pouvait être un réservoir de gaz important; enfin il n'est donné aucun renseignement sur les travaux dans lesquels on est venu percer. Ils pouvaient être très grisouteux et on le craignait puisqu'on avait recommandé à l'ouvrier d'écarter soigneusement sa lampe. L'accident s'étant produit exactement dans les circonstances qui avaient été prévues, il est assez naturel de le rapporter à la cause signalée à l'avance, au grisou.

(*) *Industrie minérale*, 1879, — Mémoire de M. Galloway.

Dinas (Pays de Galles) (13 janvier 1879).

Au sujet de cet accident, M. Galloway s'exprime ainsi dans son mémoire :

« Les travaux étaient très secs et poussiéreux. De petites accumulations de gaz explosif s'y formaient de temps en temps, mais elles n'étaient pas d'une importance suffisante pour expliquer le désastre. L'air qui avait balayé les chantiers remplissant près de la moitié du vide existant contenait toujours plus de 2 p. 100 de grisou. Sous ce rapport il ne différait pas essentiellement du retour d'air des mines de charbon à vapeur du district, étant meilleur que dans les unes, moins bon que dans les autres. S'il ne s'y fût pas trouvé de poussières charbonneuses, j'aurais considéré cette mine comme comparativement sûre. »

On peut, ce nous semble, affirmer qu'une mine dont le retour d'air tient plus de 2 p. 100 de gaz doit renfermer de nombreux amas de mélanges explosifs suffisants pour occasionner une catastrophe générale.

Nous mentionnerons encore diverses explosions

Pembertin (*)	11	Octobre	1877
Blantyre	22	Octobre	1877
Thuty-Brook	12	Mars	1878
Apudale	27	Mars	1878
Haydock	7	Juin	1878
Abercarne	11	Septembre	1878

qui ont été attribuées aux poussières, sans qu'on ait donné à leur sujet des renseignements suffisants pour appuyer cette manière de voir. Il est très vraisemblable que les mines où elles se sont produites doivent être rangées dans la catégorie de celles que M. Galloway considère comme *comparativement sûres*, et qui sont en réalité très grisouteuses.

(*) *Industrie minérale*, 1879, p. 162. — Mémoire de M. Galloway.

Seaham, Durham (8 septembre 1880) (*).

L'accident s'est produit dans la couche principale exploitée à Seaham à la profondeur de 466 mètres. Des 169 ouvriers travaillant dans cette veine au moment de l'explosion, cinq seulement ont pu être sauvés. Parmi les 164 morts, trois paraissent avoir succombé à des brûlures, une dizaine à des fractures; enfin, 150, c'est-à-dire la presque totalité, furent simplement asphyxiés; beaucoup d'ouvriers ont encore vécu plusieurs heures après l'accident, comme le prouvent les inscriptions à la craie que l'on a retrouvées. Les traces les plus considérables de l'explosion ont été trouvées dans les galeries d'entrée d'air et au voisinage des puits, c'est-à-dire très loin de tous les chantiers. On n'a trouvé nulle part de croûtes de coke après l'accident. La couche exploitée était peu grisouteuse et la surveillance était exercée avec beaucoup de soin. Pourtant une explosion de grisou s'était déjà produite en 1871 et avait fait vingt et une victimes.

L'étendue des travaux était très considérable; les quartiers en activité occupaient une surface de 250 hectares et les vieux travaux abandonnés une surface de 600 hectares. La plupart des galeries d'aérage avaient de 2,000 à 3,000 mètres de longueur. Comme dans presque toutes les mines anglaises, les puits étaient voisins les uns des autres, et les courants d'aérage se croisaient fréquemment en passant à travers des coffres en bois ou en briques très peu résistants. Il y avait huit croisements de ce genre dans un rayon de 200 mètres autour des puits. L'explosion détruisit tous ces croisements, et l'aérage fut instantanément arrêté dans toute la mine. Le nombre considérable d'hommes tués dans cet accident, ainsi que dans la plupart des grands accidents d'Angleterre, tient, comme l'a fait remarquer M. Aguillon,

(*) *Annales des mines*, 1880. — Mémoire de M. Aguillon.

à cette organisation absolument défectueuse de l'aérage. C'est là, d'une façon certaine, la cause principale à laquelle on attribua le nombre si élevé des victimes dans cet accident; quant à la cause accidentelle de l'explosion qui a amené la rupture des coffres qui assuraient la distribution de l'air, elle est restée complètement inconnue.

L'enquête ouverte au sujet de l'accident n'est pas arrivée à élucider ce point. Il y eut trois enquêtes faites parallèlement par les inspecteurs du gouvernement, les directeurs des mines du district et les ouvriers. Deux d'entre elles attribuèrent l'accident au grisou, mais en placèrent l'origine en des points très différents; la troisième l'attribua aux poussières.

La raison qui conduirait à admettre l'intervention des poussières est la difficulté d'expliquer la présence du grisou dans les galeries d'entrée d'air; mais l'absence de croûtes de coke paraît démontrer la fausseté de cette hypothèse. Du reste, d'après les expériences de M. Abel, les poussières de Seaham mêlées à l'air seul sont incombustibles; pour qu'elles deviennent combustibles, il faut, suivant le savant professeur, que le mélange contienne une proportion de grisou égale aux 70 p. 100 de la quantité qui donnerait avec l'air seul un mélange combustible. Or il est aussi difficile d'expliquer la présence, dans la galerie d'entrée d'air, de cette quantité de grisou, que d'une quantité un peu plus considérable. Il ne serait pas impossible, cependant, que les poussières remises au professeur Abel fussent les moins combustibles de la mine de Seaham. Nous savons, en effet, de source certaine que certains charbons de cette mine rendent à la distillation, plus de 30 p. 100 de matières volatiles. Ils doivent donc vraisemblablement, comme nous le montrerons plus loin par nos expériences, donner des poussières combustibles. Dans ces conditions, la conclusion la plus sage à tirer de cet accident est cette formule du jury anglais qui déclare dans son verdict : « Que les ouvriers,

« sur la mort desquels il était consulté, avaient péri par « explosion, mais qu'il se trouvait incapable de dire où « l'explosion avait eu lieu. »

Penygraig (10 décembre 1880) (*).

Cet accident s'est produit la nuit pendant le poste de réparation. Sur 106 ouvriers se trouvant dans la mine, 101 furent tués, la plupart brûlés, un certain nombre écrasés par les éboulements. Leur mort fut assez rapide pour qu'aucun n'ait eu le temps de fuir ; ils furent trouvés à la place même où ils travaillaient. Le feu parcourut toute la mine ; on trouva après l'accident des quantités considérables de croûtes de coke.

La mine n'était ouverte que depuis un an, et se trouvait par conséquent encore dans la période préparatoire. L'exploitation était extrêmement active. La couche exploitée était grisouteuse et sujette aux venues subites de gaz ; elle avait été le théâtre de plusieurs explosions importantes dans les exploitations voisines. A une trentaine de mètres au-dessus se trouvaient deux couches minces exceptionnellement grisouteuses, où l'on avait fait un captage de gaz pour éclairer les travaux de la surface. Le retour d'air général de la mine tenait normalement 2 p. 100 de grisou d'après la détermination de M. Galloway. On exploitait avec remblais sur 2 mètres de hauteur, mais on employait surtout comme remblais les menus charbons que l'on n'extrayait pas au jour. Ces remblais étaient en général très insuffisants et on laissait de grands vides qui ne se remplissaient que par l'effondrement du toit. Ces vieux travaux étaient donc dans les meilleures conditions pour former d'importants réservoirs de gaz. La majeure partie du chantier était en amont de la galerie d'aérage formant des culs-de-

(*) *Annales des Mines*, 1881. — Mémoire de M. Aguillon.

sac dont on obtenait l'aérage au moyen de toiles pendantes qui les divisaient en deux parties. En un mot la mine était la plus dangereuse d'un des districts houillers les plus dangereux de toute l'Angleterre.

La mine d'autre part était sèche et poussiéreuse; le sol était recouvert en général d'une couche de 10 centimètres de poussières.

Cet accident a été considéré comme dû à une explosion de grisou par tous les directeurs de mines et inspecteurs du gouvernement qui ont déposé dans l'enquête. M. Galloway seul a cru y voir une explosion de poussières. Les motifs qu'il invoque à l'appui de cette opinion sont d'une part la présence de croûtes de coke nombreuses, preuve qui est très loin d'être péremptoire, comme nous l'avons répété bien des fois, et d'autre part la posture dans laquelle on a trouvé les cadavres d'un grand nombre d'ouvriers : ils étaient à genoux, la tête par terre et cachée entre les mains. Il suppose que c'est en voyant s'élever un nuage de poussière et pour éviter la suffocation qu'ils ont pris cette position. C'est là une explication qui nous paraît gratuite et peu vraisemblable. Pour éviter la suffocation, les ouvriers auraient dû au contraire se mettre debout, le nuage de poussière devant être plus épais au voisinage du sol. Il est probable qu'ayant entendu le bruit de l'explosion et senti le coup de vent précurseur bien connu des mineurs, ils se sont jetés à terre pour éviter la flamme du grisou, qui, fait également bien connu des mineurs, est plus intense au sommet des galeries où le gaz s'accumule en plus grande quantité à cause de sa légèreté. Il nous paraît certain que l'on est ici en présence d'un accident de grisou, et nous ne croyons pouvoir mieux faire que reproduire les conclusions de M. Aguillon au sujet de cet accident : « Il fut établi par l'enquête « qu'il y avait eu affaissement du toit dans la région où a « commencé l'explosion, affaissement généralement ac- « compagné dans les exploitations par *longwall* d'un

« dégagement de grisou, qu'il y avait eu en outre des « éboulements qui avaient dû ralentir l'aérage dans ce « quartier. Toutes ces causes pourraient parfaitement ex- « pliquer que l'atmosphère d'un quartier aéré par le retour d'air de tout un district grisouteux fût devenu explo- « sible, alors surtout que ce quartier formait un point haut « dans la mine avec changement de sens du courant « d'air.

« Quant à la cause de l'inflammation, toujours secon- « daire en pareille occurrence, on sait qu'on a tiré un coup « de mine vers le point le plus haut; en outre on ne se « servait que de lampes Clanny dans des courants dont la « vitesse pouvait être assez grande.

« Si l'on veut bien réfléchir à l'ensemble de ces circon- « stances, si l'on observe de plus que l'aérage de tous ces « quartiers reposait sur des portes en toile, que l'in- « flammation première une fois produite, tout le grisou « des vides et des vieux travaux a dû se répandre dans la « mine, il semble qu'il y a là plus de motifs qu'il n'en « faut pour expliquer l'explosion tout aussi rationnelle- « ment que par la théorie des poussières de M. Galloway. »

Conclusion.

La discussion précédente montre qu'aucun accident de quelque importance ne peut être attribué non seulement d'une façon certaine, mais même d'une façon vraisemblable aux poussières. L'impossibilité que la poussière occasionne de grands accidents est encore prouvée par le fait que les mines de lignite, généralement très poussiéreuses, en même temps peu grisouteuses, et dont les poussières sont extrêmement inflammables, n'ont été jusqu'ici le théâtre d'aucun grand accident de ce genre.

La facilité avec laquelle on attribue les accidents de grisou aux poussières tient à ce qu'on les voit, tandis que

l'on ne voit pas le grisou. Avant un accident on voit la poussière dans toute la mine; pendant l'accident on voit la fumée provenant de sa distillation sortir par les puits et après on trouve les croûtes de coke collées sur les bois. De petites quantités de poussières brûlées suffisent pour produire des apparences frappantes qui ne peuvent échapper à personne. Le grisou, au contraire, échappe en temps normal facilement aux recherches; les ouvriers qui l'ont vu brûler dans l'accident ne sont plus là en généra. pour en témoigner et, après l'accident, il ne laisse plus guère de traces visibles.

Nous insisterons un peu sur ces considérations, car c'est là qu'il faut chercher la cause de toutes les idées, exagérées à notre avis, qui ont été émises sur le rôle des poussières.

Les preuves que l'on donne pour montrer l'influence des poussières se réduisent généralement à deux : 1° absence du grisou avant un accident; 2° existence de croûtes de coke après. Ces preuves ne sont pas du tout probantes.

L'absence de grisou avant un accident est impossible démontrer. Le procédé employé partout et le seul connu jusqu'à présent pour reconnaître la présence du gaz, l'inspection de la flamme de la lampe, est assez grossier. Il ne permet guère de reconnaître la présence de quantités de gaz inférieures à 3 p. 100, et dans la pratique les mineurs, qui sont en général assez mal exercés à ce genre d'observation, ne savent pas reconnaître une quantité de gaz inférieure à 4 p. 100. Or une proportion de 6,5 p. 100 suffit pour former un mélange explosif. Il n'y a donc qu'un écart très faible entre le point où l'on commence à soupçonner la présence du grisou et celui où il devient dangereux. Bien des causes peuvent rapidement porter la proportion de gaz de 4 p. 100 à 6,5 p. 100, soit en augmentant le volume du gaz, soit en diminuant celui de l'air.

Les causes qui peuvent modifier l'aérage et diminuer la

quantité d'air sont trop nombreuses pour être citées toutes : nous nous bornerons aux plus importantes.

Les portes d'aérage peuvent être laissées ouvertes par négligence, être détériorées par un choc ou être enlevées momentanément pour une réparation.

Des éboulements dans des voies de retour d'air étroites et mal entretenues, ou même la circulation des hommes, des chevaux, des wagons dans les galeries de roulage peuvent amener une obstruction plus ou moins complète du courant d'air. L'amoncellement des charbons au bas des chantiers peut encore produire le même effet.

La répartition de l'air entre les différents quartiers d'une mine peut d'ailleurs varier d'un moment à l'autre. Un groupe de chantiers devenant dangereux, on augmente son volume d'air, surtout aux dépens des chantiers voisins, et l'on peut ainsi amener une accumulation de gaz en un point où la sécurité était absolue quelques instants auparavant.

Enfin une pratique assez dangereuse et pourtant très répandue consiste à arrêter la ventilation pour le graissage. On admet souvent qu'un arrêt de 15 minutes est sans inconvénients. Pourtant ce temps peut suffire à remplir de mélange explosif un chantier grisouteux, qui dans les conditions normales peut être assez bien aéré pour que la lampe n'y marque pas. Pendant les jours les plus chauds de l'année la ventilation naturelle qui succède à la ventilation mécanique après l'arrêt du ventilateur peut-être nulle, et si l'on réfléchit que la quantité de grisou se dégageant par seconde d'une mine grisouteuse se compte par centaines de litres, on voit que la quantité qui pourra s'accumuler dans la mine en un quart d'heure se comptera par centaines de mètres cubes, et le volume du mélange explosif qui en résulterait par milliers de mètres cubes. Il est bien vrai que la ventilation naturelle est rarement nulle, et qu'en bien des endroits il y aura assez d'air pour diluer le grisou

de façon à le rendre inexplosif; mais ne se formerait-il que quelques mètres cubes de mélange explosif, au lieu de quelques milliers, cela suffirait encore pour expliquer la production de violentes explosions.

Il peut arriver aussi que, l'aérage n'étant pas modifié, l'état de la mine l'est cependant par l'augmentation dans la quantité de grisou dégagée par unité de temps. Cette augmentation peut avoir encore plusieurs causes.

Les dégagements instantanés considérés comme assez rares se produisent vraisemblablement plus souvent qu'on ne pense. Depuis que l'accident de Frameries a attiré l'attention sur cet ordre de phénomènes, des observations faites en Belgique et en Angleterre ont montré la fréquence de ces dégagements dans certaines couches.

L'*ouverture* des soufflards se fait généralement d'une manière subite pendant l'abatage, souvent après le tirage d'un coup de mine et c'est aux premiers moments de leur ouverture que le débit en est le plus fort.

Les vieux travaux, les éboulements forment des réservoirs de gaz plus ou moins importants et différentes causes peuvent en chasser le grisou. Un simple changement dans la disposition des courants d'aérage pourra amener une sortie du gaz dans une galerie qui en était d'abord *complètement* exempte. Mais cet effet sera surtout produit par un coup de grisou local se produisant au contact de vieux travaux, peut-être même par un simple coup de mine un peu fortement chargé. C'est vraisemblablement ainsi que doivent s'expliquer la plupart des explosions générales qui se sont produites dans des mines grisouteuses, mais bien ventilées, où l'on ne connaissait que de faibles amas de mélanges explosifs (*).

(*) Il pourrait sembler y avoir dans ces idées relatives au danger des vieux travaux une contradiction avec celles émises par l'un de nous dans un mémoire sur l'influence des variations barométriques. Nous y avons discuté et combattu l'opinion que tous les vieux tra-

Si l'absence de grisou peut bien rarement être démontrée, la formation de croûtes de coke, qui est incontestable dans un grand nombre d'accidents, ne prouve pas que le grisou n'ait pas été la cause de ces explosions. Leur existence montre simplement que la température a été suffisamment élevée pour décomposer des poussières de houille et distiller une partie des matières volatiles qu'elles renferment. La seule conclusion qu'on ait le droit d'en tirer est qu'elles ont joué un rôle plus ou moins considérable, peut-être d'ailleurs tout à fait secondaire, par les gaz qu'elles ont dégagés.

Il peut même arriver souvent que leur formation soit en grande partie postérieure à l'accident et que par suite leur influence sur celui-ci ait été presque nulle. Une explosion de grisou peut, en effet, soulever des poussières et les ramollir juste assez pour les coller sur les boisages sans les décomposer. Leur combustion et leur cokification

---

vaux d'une mine pouvaient être remplis de grisou. L'expérience montre en effet qu'au bout d'un certain nombre de mois ou d'années ces vieux travaux se purgent plus ou moins complètement et qu'ils ne renferment jamais les milliers de mètres cubes de grisou pur, nécessaires pour que les variations barométriques, aussi faibles qu'on les connaît, puissent avoir un effet sensible. Mais, s'il est impossible de trouver dans les vieux travaux des quantités aussi considérables de gaz, il est bien certain néanmoins que l'on pourra y en trouver çà et là quelques mètres cubes. Dans les galeries, dans les chantiers, c'est-à-dire aux points où l'aérage est le plus actif, il se forme déjà des amas de mélange explosif; il s'en formera à plus forte raison dans les vieux travaux où la ventilation est très faible, quelquefois nulle. Ces accumulations se feront de préférence au voisinage des chantiers, c'est-à-dire là ou leur présence est la plus dangereuse, soit que le gaz se dégageant du front de taille puisse s'élever dans des remblais situés en amont, soit que les menus, les schistes abandonnés sur place, les roches encaissantes continuent à dégager du gaz un certain temps après l'abatage et le remblayage. Il arrive fréquemment aussi qu'un soufflard est noyé dans les remblais; son débit aura beau être faible, son point de dégagement sera nécessairement le centre d'une accumulation considérable de gaz.

peuvent ensuite continuer à se produire lentement pendant un temps plus ou moins long. Cette hypothèse est appuyée par les travaux de M. Fayol, qui nous ont appris que la combustion lente des poussières commence à se produire à la température ordinaire et devient relativement très rapide à 400°.

Nous avons d'ailleurs eu l'occasion de constater ce fait d'une façon très nette dans nos expériences. Un jour, après avoir terminé une série d'expériences sur les poussières dans notre longue caisse en bois, nous sommes partis après nous être assurés comme d'habitude qu'il n'était rien resté d'allumé à l'intérieur. Le fond de la boîte était recouvert d'une couche épaisse de poussière qui paraissait complètement sombre et ne dégageait plus de vapeurs. En revenant le lendemain, nous avons cependant trouvé toutes les poussières brûlées ainsi que le fond de la boîte dont il ne restait que quelques morceaux carbonisés. Il s'était produit là une combustion lente sans flamme, car les parois et le fond supérieur de la boîte étaient restés intacts.

En résumé, toutes les grandes explosions que l'on a attribuées aux poussières seules se sont produites dans de mines grisouteuses. Le fait que les poussières à elles seules peuvent donner lieu à une explosion importante ne serait établi que le jour où une explosion de cette nature se produirait dans des mines que l'on pourrait considérer avec certitude comme dépourvues de grisou.

II.

RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES FAITES PAR DIVERS AUTEURS

§ 1.

Inflammation des poussières par une lampe.

Expériences de M. Galloway (*). — M. Galloway qui, l'un des premiers, étudia la question des poussières au point de vue expérimental, employa pour ses expériences un appareil analogue à celui dont on se sert habituellement pour essayer les lampes de sûreté. Il consistait en un conduit en bois de $5^m,71$ de longueur et d'une section intérieure de $0^m,305$ sur $0^m,152$, mis en communication avec la galerie d'un ventilateur aspirant; des registres permettaient de régler à volonté la rapidité du courant d'air. Une trémie servait à l'introduction des poussières qui, entraînées par le courant d'air, allaient après un parcours de 2 mètres passer sur une lampe à feu nu.

Les poussières charbonneuses expérimentées au nombre de deux avaient pour composition :

	Charbon à coke.	Charbon à vapeur.
C.	85,3	82,6
H.	5	5,4
O.	1,3	1,6
Az.	0,6	1
S.	0,7	0,8
Eau hygrométrique.	0,6	0,7
Cendres.	6,5	3,5
	100	100

(*) *Industrie minérale*, 2e s., t. VI, 1877, p. 802. — Mémoire de M. Galloway, traduit par M. Chansselle.

La proportion de matières volatiles que ces charbons donnent à la calcination n'est pas indiquée, mais d'après des renseignements que nous devons à l'obligeance de M. Aguillon, cette proportion doit être :

Charbon à coke..................	22 o/o
Charbon à vapeur..................	15 o/o

Dans certaines expériences, le charbon à coke fut soigneusement desséché et passé à travers une mousseline avant d'être employée.

Pour faire les expériences on réglait les registres de façon à faire traverser la caisse par un courant d'air dont la vitesse d'ailleurs n'est pas indiquée, puis on faisait tomber la poussière par la trémie. On voyait alors la flamme de la lampe à feu nu s'allonger un peu, mais dans aucun cas le mélange ne prit feu. M. Galloway conclut ainsi :

« Le résultat de ces expériences et d'autres que j'ai faites depuis semblent indiquer d'une façon très concluante qu'un mélange d'air et de poussière de houille n'est pas inflammable à la pression et à la température ordinaire. »

Expériences d'auteurs inconnus (*). — MM. Marreco et Morison ont rendu compte d'expériences qui ont été faites dans le Durham par des personnes qu'ils ne nomment pas, avec des poussières de houille d'une provenance et d'une composition également tenues secrètes. Dans ces expériences on laissait tomber d'un coup 5 litres de poussières d'une hauteur de six mètres sur un foyer ou une forte flamme de gaz. On reconnut ainsi que les poussières suivant leur nature prenaient feu en donnant une flamme plus ou moins volumineuse, ou ne brûlaient pas du tout.

(*) *North of England Institute of mining and mechanical Engineers*, 1879.

Dans les circonstances les plus favorables il se produisit une flamme de 10 mètres de haut sur 10 mètres de large, très brillante et rayonnant une très grande quantité de chaleur. D'autres poussières donnèrent une flamme de 2 mètres de haut seulement, très sombre et peu chaude. D'autres poussières enfin ne brûlèrent pas du tout et éteignirent le foyer en tombant dessus.

Les différences que présentent les poussières de houille suivant leur nature expliquent sans doute l'insuccès des expériences de M. Galloway.

Expériences de M. le professeur Abel (*). — Ce savant fut chargé à la suite du récent accident de Seaham de faire des expériences sur les poussières afin de déterminer le rôle qu'elles avaient pu jouer dans cet accident. Ces expériences portèrent sur dix échantillons de poussière de Seaham donnant à la distillation de 15 à 22 p. 100 de matières volatiles; elles furent faites dans un appareil tout à fait analogue à celui de M. Galloway. Les résultats furent absolument négatifs; aucun mélange de poussière et d'air ne put être enflammé ni par une lampe à feu nu, ni par un bec de gaz. Ces expériences répétées sur des poussières provenant de la mine de Leycett donnèrent encore les mêmes résultats.

Conclusion. Il résulterait de ces expériences que les poussières sont difficilement inflammables, puisqu'un seul expérimentateur a réussi à les faire brûler. Cela provient, comme nous le montrerons plus loin, que, parmi toutes les variétés de houille, quelques-unes seulement donnent des poussières inflammables.

(*) Enquête officielle sur l'accident de Seaham. 1881. — Rapport de M. le professeur Abel. *Annales des mines*, 7e s., t. XX, 1881.

§ 2.

Inflammation des poussières par un coup de mine.

Expériences de M. Vital (*). — Cet ingénieur entreprit, à la suite de l'accident de Campagnac relaté plus haut, des expériences de laboratoire pour vérifier l'inflammabilité des poussières de houille par un coup de mine. Il prit pour représenter la galerie de mine un tube en verre de 2 mètres de long et 0^m,035 de diamètre, et pour représenter le coup de mine un chalumeau à gaz dont on pouvait à un moment donné lancer le dard suivant l'axe du tube.

La poussière de charbon employée fut recueillie dans la mine; elle donnait à la calcination 35 p. 100 de matières volatiles et 25 p. 100 de cendres. Le charbon trié rendait 44 p. 100 de matières volatiles et 2 p. 100 de cendres. Les poussières expérimentées étaient donc mêlées d'une forte proportion de matière terreuse.

Pour faire l'expérience on étendait d'un bout à l'autre du tube une couche mince de poussière, puis on présentait pendant une seconde l'ouverture du tube au chalumeau à gaz. Une grande flamme rouge se produisait à l'intérieur sur une longueur plus ou moins considérable. Dans les conditions les plus favorables, cette flamme eut 1^m,80 de long, mais elle ne sortit jamais du tube. La flamme du chalumeau était bleue, à peine visible, et son cône intérieur n'avait que 5 centimètres de longueur. Cette expérience montre qu'il y a eu combustion d'une quantité très notable de poussière, mais cette inflammation ne s'est pas propagée indéfiniment, bien qu'il y eût encore de la poussière non brûlée. Ce résultat est d'accord avec

(*) *Annales des mines*, 7e s., t. VII, 1875.
Industrie minérale, 1875, p. 175. — Mémoire de M. Vital.

ceux que nous a fournis la discussion des accidents de mine dus à une inflammation de poussière occasionnée par un coup de mine qui avait débourré.

Expériences faites par une commission de la Société de l'industrie minérale (*). — Une première série d'expériences fut faite dans l'appareil ordinaire servant à l'essai des lampes de sûreté. C'était un conduit en bois de $0^m,40$ de côté; un ventilateur placé à une extrémité, permettait d'y faire circuler un courant d'air; on jetait les poussières dans les ailes de ce ventilateur. L'inflammation était produite au moyen de cartouches de 50 gr. de poudre renfermées dans un bout de tuyau en plomb et placées sur le fond de la caisse. On reculait de plus en plus la cartouche jusqu'au moment où l'on ne voyait plus sortir la flamme. Une cartouche seule, sans poussière ni courant d'air, placée à 3 mètres de l'orifice, ne laissait plus sortir la flamme. Avec de la poussière et le courant d'air il fallait reculer la cartouche jusqu'à $6^m,50$ pour qu'on ne vît plus sortir la flamme.

La quantité de poussière enflammée a donc été extrêmement faible, sinon nulle. Si l'on remarque en effet que le volume de la flamme de 50 grammes de poudre devait remplir la caisse sur $1^m,50$ de longueur environ, on voit que les poussières de houille se trouvant en suspension dans cette flamme et qui ont nécessairement été portées à l'incandescence, ont pu, étant entraînées par le courant d'air, facilement produire à elles seules une flamme de $6^m,50$ de longueur. Les poussières employées dans ces expériences et dont la nature d'ailleurs n'est pas indiquée n'étaient donc vraisemblablement pas inflammables.

Une seconde série d'expériences fut faite dans une ga-

(*) *Industrie minérale*, 2e s., t. IV, 1875, p. 223. — Rapport de MM. Desbief et Chansselle.

lerie artificielle construite exprès pour cet usage. Elle était formée par des bois refendus de 2 mètres de long appuyés d'une part contre un mur, d'autre part contre le sol et formant ainsi une sorte de triangle rectangle de 1^{m},50 de côté. Un panneau mobile avait été ménagé au milieu de la longueur, de sorte que suivant qu'on mettait ce panneau ou qu'on l'enlevait on obtenait une galerie de 10 mètres ou deux galeries de 4 mètres. Un ventilateur débouchait au commencement de la première galerie dans laquelle on avait étendu une couche de poussière de 5 centimètres d'épaisseur; on jetait également des poussières dans les ailes du ventilateur. Le feu était mis au moyen de cartouches de 30 grammes de poudre renfermées soit dans du papier, soit dans un bout de tuyau de plomb maté aux *deux* extrémités. En opérant sur une galerie de 4 mètres et plaçant la cartouche à 2 mètres de distance de l'orifice, on vit sortir une grande flamme rouge. En répétant l'expérience avec la galerie de 10 mètres et plaçant la cartouche à 8 mètres de l'orifice on ne vit plus sortir la flamme. Un journal placé à 3 mètres en avant de la cartouche ne fut pas brûlé. Une cartouche seule sans poussière donnait une traînée de feu, nette et blanche comme celle qui sort d'un fusil. Il y eut donc dans ces expériences de la poussière brûlée, mais en quantité très faible puisqu'un journal ne fut pas brûlé à 3 mètres de la cartouche.

Expériences de MM. Hall et Clark (*). — MM. Hall et Clark ont entrepris des expériences spécialement en vue d'étudier l'effet des coups de mine qui débourrent. Des charges de poudre variées ont été enflammées dans un fort tube en fer de 60 centimètres de long et 6^{m},3 de diamètre au front de taille d'une galerie inclinée ou fendue

(*) *Industrie minérale*, 1878, 2e s., t. VII, p. 665. — Mémoire M. Galloway, traduit par M. Chansselle.

qui avait été poussée en partant du jour et voûtée en maçonnerie de briques sur 41 mètres de longueur. Cette galerie avait une inclinaison de 1/3. A 33 mètres de l'entrée se trouvait une galerie de niveau de 5^{m},50 de long poussée à partir de la fendue à angle droit jusqu'au fond d'un petit puits de 2^{m},44 de diamètre partant du jour. Ce puits était à droite en descendant. La section de la galerie inclinée était de 2^{qm},80.

De légères pièces de tissus fins et aisément inflammables furent suspendues à intervalles de 4^{m},57 au moyen d'entretoises en bois depuis les deux tiers environ de la hauteur de la voûte, presque jusque au sol. Dans chaque entretoise, de petits trous de 25 millimètres de diamètre et 50 de profondeur étaient percés de façon à faire face au coup de mine et étaient remplis de poudre de chasse fine.

Des expériences préliminaires furent d'abord faites sans poussières avec des charges de poudre variant de 700 à 1.200 grammes. Sur cinq expériences une seule produisit l'inflammation des témoins situés à 4^{m},57 du front de taille et seulement de ceux-là; ce fut avec un coup de 900 gr. La flamme dépassa donc rarement 4^{m},57 et n'atteignit jamais 9 mètres. Les effets mécaniques de l'explosion de la poudre se firent sentir plus loin. Avec 1.200 grammes de poudre les deux premières entretoises portant les témoins à 4^{m},57 et 9 mètres furent renversés. Le souffle à l'orifice de la fendue était perceptible mais très faible. Avec 900 et 700 grammes les premières entretoises seules furent jetées à terre.

Les expériences furent alors reprises en bourrant les coups de mine avec des poussières de charbon et étendant de la poussière sur le sol de la fendue à partir du front de taille sur une longueur de 8 mètres.

Charge de poudre : 680 grammes. La toile et la poudre sont brûlées à 4^{m},51 et 9^{m},14, mais ne le sont pas à 13^{m},72. On sent un souffle très fort à l'orifice de la fendue.

Charge de poudre : 906 grammes. La toile et la poudre sont brûlées à $4^m,57$, $9^m,14$ et $13^m,72$, mais elles ne le sont pas à $18^m,28$. Il se produit un ouragan violent qui renverse les trois entretoises suivantes.

Charge de poudre : 1.133 grammes. La toile et la poudre sont entièrement brûlées à $4^m,57$, $9^m,14$, $13^m,72$ et $18^m,28$. Il se produit un ouragan très violent jusqu'à l'orifice de la fendue, c'est-à-dire à 41 mètres de distance, soulevant et transportant à 14 mètres un tuyau métallique pesant environ 23 kilog. et déplaçant une benne à charbon sur la plate-forme de l'orifice de la fendue, à 27 mètres de son orifice, soit à 68 mètres du coup de mine.

Une dernière expérience fut faite en répandant une quantité considérable de poussière de houille sur toute la longueur de la fendue. Le sol était très humide. On enflamma une charge de 1.133 grammes de poudre. La flamme sortit violemment par l'orifice de la fendue ayant ainsi parcouru 41 mètres. L'ouragan fut terrible et tout homme qui se serait trouvé sur son passage aurait été certainement tué ou blessé.

Ces expériences sont très intéressantes car elles reproduisent en grandeur naturelle des conditions qui peuvent se réaliser dans l'exploitation des mines. Elles montrent d'une façon très nette qu'il y a proportionnalité entre l'intensité d'une explosion de poussière et celle du coup de mine débourrant qui l'a occasionnée. Les charges de poudre et la longueur de flamme correspondantes dans ces expériences ont été :

700^{gr}	9^m
900	14
1.100	18

Cettte proportionnalité semblait du reste déjà résulter de l'étude des accidents de mine, mais apparaissait moins

nettement à cause des conditions variables dans lesquelles ceux-ci se sont produits.

Ces expériences démontrent donc la fausseté d'une théorie, assez séduisante au premier abord, qui, assimilant l'inflammation des poussières par un coup de mine à celle de la poudre par une amorce, admet que l'inflammation des poussières une fois produite en un point, se propagerait ensuite indéfiniment. En réalité il n'en est rien et même, en se reportant aux chiffres précédents, on peut voir que l'inflammation des poussières ne doit guère se produire au delà de la zone traversée par la flamme du coup de mine. En effet, dans une des expériences faites à blanc, la flamme d'un coup de mine chargée de 900 grammes de poudre a atteint une longueur de $4^{m},70$. La même expérience répétée avec des poussières a donné une flamme de 14 mètres, soit trois fois plus longue. Pour obtenir une longueur de flamme semblable, il suffit d'admettre que le mélange d'air et de poussière a été porté, sur une longueur de $4^{m},70$ que traverse la flamme de la poudre, à une température de 500 degrés. Or, ce chiffre est bien inférieur à celui de la combustion du mélange d'air et de poussières.

Expériences de MM. Marreco et Morison (*). — Ces ingénieurs ont fait une série d'expériences pour étudier l'inflammation des poussières par de petits coups de canon destinés à simuler les coups de mines qui débourrent. L'appareil employé consistait en une longue caisse rectangulaire en bois fermée à une extrémité et ouverte à l'autre. Elle était divisée en deux dans le sens de sa longueur par une cloison médiane qui se terminait un peu avant le fond fermé de la boîte. Une des extémités de l'un des compartiments ainsi formé,

(*) *North of England institute of Mining engineers*, 1879, p. 85. et *Annales des mines*, 7e s., t. XV, 1879, p. 374, extrait par M. Dombre.

venait s'emboîter dans une conduite qui amenait dans a boîte un courant d'air forcé dont la vitesse était réglée par une valve. L'extrémité de l'autre compartiment restait ouverte pour laisser sortir cet air après qu'il avait contourné la cloison médiane. Deux canons, traversant la face postérieure de la boîte, étaient dirigés chacun suivant l'axe de l'un des compartiments.

L'allumage se faisait au moyen d'une explosion électrique qui permettait l'allumage simultané ou successif des deux coups. Des regards vitrés ménagés sur les faces latérales des compartiments permettaient de mesurer la longueur de la flamme. Les expériences ont été faites avec des vitesses du courant d'air comprises entre $1^m,50$ et 3^m ; les charges de poudre employées n'ont pas été indiquées.

Le résultat principal de ces expériences a été que la combustibilité des poussières est très différente suivant leur nature. Avec quelques-unes d'entre elles la flamme est sortie de la caisse, c'est-à-dire qu'elle a eu plus de 3 mètres de longueur; avec d'autres, au contraire, la flamme n'a pas atteint la moitié de cette longueur. Les auteurs n'ont malheureusement donné aucun renseignement sur la composition des charbons qu'ils ont expérimentés; ils ont même tenu secrets les noms des houillères dont ils provenaient; ils n'ont indiqué que le nom du district.

Il semblerait résulter de ces expériences que si les poussières sont inégalement combustibles, elles le sont néanmoins toutes, car il y a toujours eu production de flamme. Mais pour interpréter ces résultats, il faut tenir compte de la vitesse avec laquelle l'air circulait dans la caisse, vitesse qui a varié de $1^m,50$ à 3 mètres. La longueur de la flamme dépend en grande partie de cette vitesse. Des particules de charbon rendues incandescentes par le contact de la poudre enflammée, ont pu être entraînées par le courant d'air et simuler une flamme.

Dans un certain nombre de cas il y a eu détonation et

même rupture de la caisse ; tandis que lorsqu'on enflamme les poussières avec une flamme on n'obtient jamais d'explosion. Ces résultats ne sont pas contradictoires. La flamme d'un petit canon ou d'un coup de mine qui débourre enflamme instantanément le mélange de poussière et d'air sur une grande étendue et provoque ainsi une explosion initiale qui n'est qu'une amplification de celle de la poudre et avec laquelle elle se confond. La combustion se propage ensuite lentement dans le reste de la masse en produisant simplement une flamme. Dans le cas où l'inflammation est produite par une lampe ; la seconde période de la combustion se produit seule et il n'y a pas d'explosion.

Expériences de M. le professeur Abel (*). — Dans ses recherches relatives à l'accident de Seaham, M. Abel a cherché à obtenir l'inflammation des poussières par la combustion de petites masses de poudre ou de pyroxile. Les expériences ont été faites dans une caisse analogue à celles employées par la plupart des expérimentateurs ; des charges de 20 grammes de pyroxile ou de 26 grammes de poudre étaient placées sur le fond de cette caisse. Les poussières expérimentées provenaient des mines de Seaham et de Leycett ; elles donnent à la calcination de 13 à 22 o/o de matières volatiles. On mesurait la longueur de la flamme de la poudre d'abord seule, ensuite additionnée de poussière.

Les résultats ont été absolument négatifs : tantôt la poussière diminuait, tantôt elle augmentait la longueur de la flamme de la poudre ; mais toujours d'une quantité très faible. L'expérience la plus favorable fut obtenue avec des poussières de Leycett mises en suspension dans un courant

---

Enquête officielle sur l'accident de Seaham 1881. — Rapport de M. le professeur Abel. *Annales des mines*, 7 s., t. XX, 1881. Traduction de M. Aguillon.

d'air animé d'une vitesse de 5 mètres par seconde. Une charge de 26 grammes de poudre de mine sans poussières avait donné une flamme de $4^m,50$. Avec des poussières dans le courant d'air la longueur de la flamme fut de $7^m,60$. Il est bien évident que cet allongement résulte en grande partie du transport par le courant d'air de particules de charbon portées à l'incandescence au contact de la flamme de la poudre. Les mêmes poussières expérimentées dans un courant d'air de $0^m,50$ de vitesse par seconde ont au contraire diminué un peu la longueur de la flamme de la poudre.

Conclusions. — Les conclusions qui ressortent de ces expériences sur l'action des coups de mine, sont que, dans les travaux souterrains, les coups débourrants sont à peu près seuls efficaces pour provoquer l'inflammation des poussières ; c'est ce que nous avait déjà appris la discussion des accidents.

§ 3.

Inflammation des poussières par un coup de grisou local.

Expériences de M. Galloway (*). — M. Galloway a fait quelques expériences pour reproduire en petit l'action d'un coup de grisou sur des poussières de houille. Les expériences ont été faites pour la plupart avec un courant d'air provenant du retour d'air de la mine de Llwynipia qui renferme environ 2 p. 100 de grisou. Nous sommes obligés de donner à cette place le résumé de ces expériences qui ferait plus naturellement partie du chapitre traitant de l'inflammation des poussières, en présence d'une petite quantité de grisou, parce que M. Galloway ne donne aucun

(*) *Industrie minérale*, 2e s., t, IX, 1880, p. 167. — Mémoire de M. Galloway, traduit par M. Chansselle.

détail sur les expériences faites avec de l'air pur et se contente de dire que les résultats ont été beaucoup plus faibles qu'avec une petite quantité de gaz.

Les expériences ont été faites dans une galerie rectangulaire en bois de 0^m,35 de côté et de 24 mètres de longueur. L'une des extrémités pouvait être mise en communication soit avec le retour d'air de la mine, soit avec un petit ventilateur actionné par une turbine à vapeur. Près de cette extrémité était placé sur la galerie un cylindre en tôle vertical de 0^{m},131 de capacité destiné à simuler une cloche au toit. On le remplissait d'un mélange explosif à 10 p. 100 de grisou que l'on allumait avec un exploseur électrique. Quand il n'y avait pas de poussière de houille dans la galerie la flamme du grisou atteignait dans sa partie visible une longueur de 2^m,50. En réalité, la longueur de la partie chaude, quoique invisible, de la flamme a dû être bien plus grande. La température de combustion du grisou dans l'air est, d'après nos expériences, de 2.000 degrés environ. En partant de ce chiffre pour calculer le volume de la flamme on trouve qu'elle devait remplir la galerie sur une longueur de 8 mètres.

Quand la galerie contenait des poussières répandues sur le sol et sur des boisages en planchettes et qu'elle était remplie avec l'air du puits de sortie, la flamme de l'explosion la parcourait sur toute sa longueur et sortait encore au dehors. En allongeant un peu la galerie, il arrivait que la flamme ne parcourait plus que la moitié ou les deux tiers de ce qu'elle avait parcouru primitivement.

Dans une autre expérience, avec une galerie étanche de 18 mètres de longueur, la flamme ne parcourut plus que 9 à 12 mètres. Les résultats étaient meilleurs quand les caisses en bois avaient des joints ouverts à la jonction des planches dont elles étaient formées.

En répétant ces expériences avec de l'air pur on observa une grande différence dans la force de l'explosion ains

que dans la distance que la flamme parcourait dans la galerie.

La conclusion la plus nette à tirer de ces expériences est que la combustion des poussières allumées par un coup de grisou ne se propage pas indéfiniment, ce qui est conforme aux résultats des expériences faites avec la poudre.

La longueur maxima de flamme obtenue paraît avoir été d'une trentaine de mètres; pourtant la description des expériences est très sommaire, et l'on ne ne sait pas si la caisse avait sa longueur maxima de 24 mètres dans les expériences où la flamme est sortie. Mais dans presque toutes les expériences la flamme n'a pas dépassé 15 mètres, c'est-à-dire le double de la longueur que devait avoir la flamme du grisou. Il n'y aurait donc que les poussières en suspension dans la flamme même du gaz qui seraient intervenues dans le phénomène.

On peut chercher à comparer ces résultats avec ceux qu'on a obtenus dans les expériences sur les coups de mines. Mais il n'y a pas eu d'expériences faites, dans une galerie de section réduite, avec des charges de poudre comparables au volume de gaz. Un volume gazeux de $0^{mc},131$ correspond en effet à 500 grammes de poudre environ et les plus fortes charges employées dans ces expériences ont été de 50 grammes, c'est-à-dire dix fois moindres; il aurait fallu, pour pouvoir comparer les résultats, employer 13 litres seulement du mélange gazeux. En essayant d'établir une proportion par le calcul et prenant pour point de départ les expériences de MM. Hall et Clark faites dans une galerie de $2^{mq},80$ de section, on trouve qu'il aurait fallu employer $3^{mc},25$ de mélange gazeux pour obtenir une flamme de grisou de la même longueur, donnant vraisemblablement par suite une flamme de poussière égale à celle des expériences, c'est-à-dire d'une trentaine de mètres. Ces $3^{mc},25$ correspondraient à 10 kilog. de poudre environ. Or, dans ces expériences, avec 1 kilog. de poudre,

on a déjà eu une flamme de poussière ayant bien plus de 50 mètres. Les coups de grisou paraîtraient donc beaucoup moins efficaces que les coups de mine pour provoquer l'inflammation des poussières.

III.

EXPÉRIENCES FAITES PAR LES AUTEURS DU PRÉSENT MÉMOIRE.

Il résulte très nettement, et de la discussion des accidents et des expériences que tantôt les poussières sont combustibles, tantôt elles ne le sont pas, sans que la raison de ces différences ressorte bien nettement des faits connus jusqu'ici. Nous nous sommes proposé de préciser les conditions d'inflammabilité des poussières et d'étudier :

1° L'influence des dimensions de la flamme ;

2° L'influence de la vitesse du courant d'air ;

3° L'influence de la grosseur de la poussière ;

4° L'influence de la nature de la houille ;

5° L'influence de la proportion relative des poussières et d'air ;

6° La vitesse de propagation de la flamme.

Ces expériences ont été faites dans l'un des deux appareils suivants. Le premier de ces appareils, analogue à ceux qu'employaient MM. Galloway, Morison, Abel, consiste en un conduit en bois de 4 mètres de long, $0^m,15$ de large et $0^m,40$ de haut. Une des extrémités est en communication avec un ventilateur à bras qui peut donner une pression de 5 centimètres d'eau. A 50 centimètres de cette extrémité est un registre se soulevant par le haut qui sert à régler l'arrivée d'air; on maintient toujours la vitesse du ventilateur uniforme. A 25 centimètres au delà du registre on a placé sur le sommet de la conduite une caisse en bois

dont le fond est percé de trous et qui sert à l'introduction de la poussière. Les remous produits par l'étranglement du courant d'air sous le registre favorisent la mise en suspension des poussières. Deux mètres plus loin est une fenêtre vitrée mobile permettant d'introduire une lampe et d'en surveiller la combustion. Enfin l'extrémité ouverte de la caisse est à 50 centimètres au delà. Quand les poussières expérimentées brûlent, elles donnent une grande flamme qui sort par cet orifice et en remplit toute la section.

Le deuxième appareil employé consiste simplement en une caisse en bois blanc, cubique, de 50 centimètres de côté, dont le couvercle a été enlevé. Au centre on place un bec de gaz dont l'orifice est tourné vers le bas pour éviter son encrassement, ou bien encore une boule de papier enflammé. Pour essayer la combustibilité des poussières, on en prenait une large poignée dans les deux mains réunies en forme de cuvette et on la laissait tomber rapidement en l'égrenant entre les doigts de façon à la diviser autant que possible. On se place à 1^{m},50 au moins au-dessus de la caisse. Dans ces conditions, les poussières tombent au fond de la caisse en colonne serrée en entraînant un volume d'air plus ou moins considérable. Cet air produit des remous dans la caisse qui maintiennent en suspension une quantité considérable de poussières fines. Elles s'enflamment alors au bec de gaz si elles sont combustibles et donnent une flamme qui peut s'élever à 1 mètre et plus de hauteur.

§ 1.

Influence du volume de la flamme.

Les sources de chaleur étudiées ont été :

La flamme normale d'une lampe Davy détamisée;

La flamme de la même lampe après avoir monté la

mèche de façon à avoir une flamme de 5 centimètres de hauteur;

Un large bec de gaz;

Une grosse boule de papier enflammée.

Ces expériences ont été faites dans le premier appareil où les poussières sont maintenues en suspension dans un courant d'air.

Des poussières extrêmement fines obtenues en broyant du charbon de Blanzy avec les meules à charbon employées dans la fabrication de la poudre, et que nous devons à l'obligeance de M. le baron Thénard, se sont enflammées instantanément en arrivant sur les trois dernières sources de chaleur. Avec la flamme normale de la lampe Davy il s'est d'abord produit dans la masse quelques flammèches isolées, puis le tout s'est enflammé, l'ensemble de ces phénomènes successifs n'ayant pas duré plus de deux secondes.

Des poussières de Blanzy recueillies dans les boisages des galeries, très fines, mais moins que les précédentes, se sont enflammées immédiatement avec le bec de gaz et la boule de papier; au bout de quelques secondes seulement avec la lampe Davy ayant sa mèche montée. Mais avec la mèche basse l'inflammation ne se produisit qu'au bout d'un temps assez long, ou souvent ne se produisit pas du tout; il se formait seulement des langues de feu qui partaient de la lampe, s'allongeaient jusqu'à 20 centimètres environ, puis s'éteignaient et étaient remplacées par de nouvelles.

Des poussières très grossières ramassées à la pelle dans l'usine à gaz de la Villette se sont enflammées au bout de quelques secondes avec le bec de gaz et la boule de papier, ne se sont enflammées que rarement avec la lampe Davy ayant sa mèche montée et jamais avec la lampe dans son état normal.

Des poussières recueillies sur les boisages dans les mines d'Anzin ne se sont jamais enflammées.

Il résulte de ces expériences qu'un mélange inflammable

de poussière et d'air exige pour s'allumer une flamme ayant au moins un certain volume minimum, ce minimum variant avec la nature des poussières. Il en est de même pour les mélanges gazeux inflammables qui exigent pour s'allumer une étincelle électrique ayant au moins un certain volume minimum, ce minimum variant avec la nature du mélange. La seule différence est que dans les gaz le volume minimum est une fraction de millimètre cube, tandis que pour les poussières il est de quelques centimètres cubes. En faisant croître le volume de la flamme à partir de ce minimum, on augmente la rapidité de l'inflammation; pour un certain volume, l'inflammation devient à peu près instantanée et l'on ne gagne plus rien en accroissant encore les dimensions de la flamme. Ce volume maximum nous a paru, pour toutes les poussières que nous avons essayées, inférieur à un décimètre cube. Une boule de papier enflammée serait donc suffisante pour décider dans tous les cas de l'inflammabilité ou de la non-inflammabilité des poussières.

§ 2.

Influence de la grosseur de la poussière.

On a comparé la houille de Blanzy, broyée par les meules à charbon des poudreries avec les poussières de la même houille recueillies sur les boisages dans la mine; enfin des poussières grossières ramassées sur le sol de l'usine à gaz de la Villette, dans lesquelles il y avait des grains de plusieurs millimètres de côté. Ces poussières ont été d'autant plus inflammables qu'elles étaient plus fines; il fallait pour les allumer, comme nous l'avons dit plus haut, des flammes de moins en moins volumineuses. La grosseur des grains joue donc un certain rôle dans l'inflammabilité des poussières, mais il est secondaire puisque, en somme, des poussières de houille identiques ont été toutes trouvées inflamma-

bles, quelle que soit leur grosseur. Ce résultat, qui *a priori* peut sembler peu vraisemblable, s'explique par ce fait que le courant d'air produit une certaine séparation mécanique et ne conserve en suspension que les poussières les plus fines. Des poussières fort différentes au moment où on les introduit dans l'appareil finissent par se ressembler beaucoup lorsqu'elles arrivent sur la flamme de la lampe. Les parties les plus grosses se sont déposées sur le sol de la caisse, les plus fines seules ont été entraînées par le courant d'air. Le résultat, bien entendu, serait tout différent si au lieu de prendre des poussières tout venant on prenait des poussières de grosseur uniforme préparées par un tamisage préalable. L'augmentation de la grosseur des grains produirait bientôt sans doute la non-inflammabilité de leur mélange avec l'air.

§ 3.

Influence de la vitesse du courant d'air.

Nous avons reconnu que la vitesse du courant d'air dans lequel les poussières étaient maintenues en suspension avait une influence notable sur leur degré d'inflammabilité. Des poussières de Blanzy recueillies sur les boisages ont cessé d'être inflammables, avec la lampe Davy ayant sa mèche montée, pour des vitesses inférieures à 1 mètre ou supérieures à 4 mètres. La cause de ces faits paraît être qu'aux vitesses faibles les poussières ont le temps de se déposer entre la trémie et la lampe et qu'il n'en reste plus assez en suspension ; aux grandes vitesses, les particules de charbon traversent trop rapidement la flamme pour avoir le temps de s'y allumer.

§ 4.

Influence de la nature de la houille.

Les expériences diverses faites en France et en Angleterre ont montré d'une façon bien nette que certaines houilles donnent des poussières inflammables, d'autres au contraire des poussières non inflammables, et la plupart des auteurs admettent, mais sans donner aucun fait précis à l'appui, que les poussières les plus inflammables sont celles provevenant des houilles les plus gazeuses. Nous avons fait quelques expériences pour vérifier cette hypothèse qui paraît en effet très vraisemblable. Nous avons employé soit l'appareil à courant d'air soit la caisse cubique. Nous nous sommes assurés préalablement que toutes les poussières inflammables dans l'un des appareils l'étaient dans l'autre et réciproquement.

Nous avons trouvé en rangeant les houilles d'après leur degré approximatif d'inflammabilité croissante les résultats suivants :

Poussières non inflammables.

		Mat. volatiles.
Mine d'Anzin.	— Fosse Hérin.	19,5
Id.	— id. très grisouteux. .	24,6
Id.	— Haveluy, non grisouteux	19
Id.	—	18

Poussières inflammables.

Mines de Commentry.	— Puits Forest.	32 o/o
Id.	— Puits Ste-Aline	35 o/o
Mines de Blanzy.		39 o/o
Lignites de Bohême.		50 o/o

Il résulte donc bien nettement de ces expériences que pour qu'une houille produise des poussières inflammables

il faut qu'elle donne à la calcination au moins 30 o/o de matières volatiles, et plus cette proportion est grande, plus l'inflammabilité aussi est grande. Les lignites donnent de beaucoup les poussières les plus combustibles.

On peut s'étonner *a priori* que des poussières de houille puissent être incombustibles, mais il ne faut pas se méprendre sur le sens de ce mot; il veut simplement dire que, dans le cas particulier considéré, celui de poussières maintenues en suspension dans l'air, l'inflammation communiquée en un point peut ne pas se propager dans toute la masse. Cette propagation de la flamme est en effet une fonction très complexe des températures de combustion, d'inflammation, de distillation, etc. On conçoit que cette fonction puisse s'annuler dans certains cas et que le mélange ne brûle pas, tandis que dans des circonstances différentes, il brûlera plus ou moins aisément. C'est par une raison analogue que le grisou, gaz combustible, cesse de brûler quand il est mêlé à un excès d'air suffisant, pour redevenir combustible si l'on élève au préalable de quelques centaines de degrés la température du mélange. Toutes les poussières de houille sont certainement combustibles dans des conditions convenables, mais un certain nombre d'entre elles ne le sont pas dans les conditions particulières que nous avons en vue ici.

Il pourrait d'ailleurs se faire que la proportion de matières volatiles ne fût pas la cause immédiate de l'inflammabilité; les houilles les plus riches en matières volatiles sont aussi les plus oxygénées et l'on sait qu'en général les corps oxygénés sont plus inflammables que les corps non oxygénés. Le bois est plus facilement inflammable que la houille; les vapeurs d'alcool que les vapeurs de pétrole, etc. Enfin, la température à laquelle commence la distillation des matières volatiles doit jouer aussi un certain rôle dans la combustibilité des poussières.

§ 5.

Influence des proportions relatives de poussières et d'air.

Nous avons vérifié ce qui avait déjà été reconnu par M. Galloway que la proportion de poussières doit être extrêmement considérable pour donner un mélange combustible; il faut que les poussières forment un nuage assez épais pour intercepter complètement, en plein jour, sous une épaisseur de 50 centimètres la lumière d'une lampe placée dans l'appareil à expérience. Nous n'avons pu faire de mesures plus précises faute de procédé convenable, les poussières se déposant avec une trop grande rapidité. M. Galloway a indiqué comme proportion la plus convenable 1 kilog. de poussières pour 1 mètre cube d'air ; ce chiffre ne nous paraît nullement exagéré.

M. Berthelot a montré pourquoi cet excès considérable de poussière était nécessaire. Le mélange contenant juste la quantité de charbon qui pourrait être brûlée complètement par l'air n'est pas le plus combustible, comme cela arrive pour les mélanges gazeux, parce qu'il n'y a que la couche superficielle des grains qui prend part à la combustion. Il résulte de cette explication que plus la poussière est fine, moins il en faut pour produire un mélange combustible.

Ces quantités considérables de poussières ne peuvent être mises et ensuite retenues en suspension que par une agitation assez violente de l'air. La densité du mélange le plus combustible est presque double de celle de l'air pur, la force qui tend à supprimer l'air du mélange est donc relativement considérable. Aussi le dépôt de la poussière se fait-il très rapidement après la disparition de la cause d'agitation de l'air.

Nous avons reconnu par exemple dans notre caisse qu'avec une vitesse de 1 mètre par seconde l'air n'était plus chargé d'une quantité suffisante de poussières pour s'enflammer sur une lampe; l'air avait mis au plus deux secondes à parcourir la distance qui sépare la trémie de la lampe ; la hauteur de la caisse était de 40 centimètres; on voit ainsi qu'en une seconde une tranche d'air de 20 centimètres laisse déposer assez de poussières pour que le mélange cesse d'être combustible.

§ 6.

Vitesse de propagation de la flamme.

Nous avons cherché à mesurer la vitesse de propagation de la flamme dans des mélanges d'air et de poussières, comme nous l'avions fait pour les mélanges gazeux. Mais nous n'avons jamais trouvé de vitesse appréciable dans un mélange peu agité; cette vitesse, si elle existe, est certainement inférieure à 1 centimètre. Elle est infiniment plus faible que celle du mélange d'air et de lycopode pour lequel nous avons trouvé environ 10 centimètres par seconde. La propagation de la flamme paraît se faire uniquement par les mouvements intérieurs qui mélangent les parties enflammées avec celles qui ne le sont pas encore et nullement par conductibilité ou rayonnement.

Lorsque le mélange d'air et de poussières est agité par des mouvements internes considérables, la vitesse de propagation reste toujours très faible et inférieure à 1 mètre; aussi est-il impossible, au moins dans le laboratoire, d'obtenir des explosions proprement dites avec les poussières. Au contraire, les mélanges d'air et de grisou animés de mouvements internes donnent des vitesses de propagation pouvant aller jusqu'à une centaine de mètres.

Une expérience très simple met bien en évidence cette différence du gaz et des poussières. En enflammant un mélange d'air et de poussière dans notre longue caisse à expérience en son point milieu nous avons entendu à peine un léger souffle. Une feuille de papier qui fermait une ouverture pratiquée sur l'une des parois n'a pas crevé et s'est à peine gonflée. Un mélange d'air et de gaz enflammé dans les mêmes conditions a produit au contraire une violente explosion ; la caisse, bien qu'ouverte à une extrémité, a été complètement brisée.

Les mélanges de poussières et d'air doivent, comme les mélanges gazeux s'éteindre par une agitation trop violente mais nous n'avons pu le constater expérimentalement.

CHAPITRE II.

MÉLANGES DE POUSSIÈRES ET D'AIR AVEC DE L'AIR TENANT UNE QUANTITÉ DE GRISOU INSUFFISANTE POUR FORMER UN MÉLANGE EXPLOSIBLE.

Il est assez naturel de supposer que des poussières non combustibles le peuvent devenir en présence d'une petite quantité de gaz qui à elle seule aurait été insuffisante pour former un mélange explosible. M. Galloway a émis cette idée le premier et l'a appuyée par des expériences multipliées ainsi que par l'étude d'un grand nombre d'accidents.

La démonstration de la proposition formulée par M. Galloway comprend deux parties bien distinctes :

1° Des mélanges de poussières et d'air tenant un peu de grisou sont combustibles;

2° Les mêmes mélanges de poussières et d'air sans grisou ne sont pas combustibles.

Cette distinction est importante à faire, car M. Galloway, considérant comme certain que les poussières seules ne sont pas combustibles, ne s'est guère attaché qu'à démontrer qu'elles le sont en présence d'un peu de grisou.

I.

ACCIDENTS DE MINES

On peut citer ici à peu près tous les accidents que nous avons discutés à propos des poussières seules. La lampe en effet ne permet pas deconnaître une proportion de grisou inférieure à 3 o/o. Lorsqu'on dit qu'il n'y a pas de gaz, cela veut donc simplement dire en général qu'il y en a moins de 3 o/o, et si l'on remarque que la plupart des accidents attribués aux poussières sont arrivés dans des mines très grisouteuses, on peut conclure que très vraisemblablement il y avait un peu de grisou dans l'air au moment de l'accident. A la mine de Fowler, en particulier, M. Galloway put démontrer d'une façon certaine la présence du gaz au lieu de l'accident. La lampe ne marquait pas dans les conditions normales; mais elle marqua lorsqu'on réduisit considérablement la ventilation; il y avait donc normalement du gaz, mais en proportion inférieure à 3 o/o.

Dans l'impossibilité où l'on est, pour la plupart des accidents de savoir si le grisou était ou non entièrement absent, nous avons préféré les laisser tous groupés ensemble, au lieu de faire une séparation qui eût été nécessairement arbitraire. En fait, tous les accidents survenus en Angleterre et que nous avons discutés plus haut ont été cités par M. Galloway comme preuves de la combustibilité des mélanges de poussières avec de l'air tenant un peu de grisou.

Il faut donc répéter ici les conclusions formulées dans

la première partie de ce travail. Les poussières en présence d'un peu de gaz sont combustibles, et ont occasionné des accidents, mais toujours d'une étendue très limitée. Rien ne prouve d'ailleurs que les poussières seules n'auraient pas produit le même effet en l'absence du gaz, car il est bien certain, comme nos expériences l'ont démontré que, mêlées à de l'air pur, elles peuvent donner des mélanges combustibles. La discussion de ces accidents ne peut donc prouver en aucune façon que la petite proportion de gaz contenue dans l'air ait joué un rôle quelconque.

II.

EXPÉRIENCES FAITES PAR DIVERS AUTEURS.

Expériences de M. Galloway. — M. Galloway a fait deux séries d'expériences pour démontrer que la présence d'une petite quantité de gaz rend combustibles des poussières qui ne le sont pas lorsqu'on les mélange avec de l'air pur.

L'appareil employé se composait d'une caisse horizontale de 5 mètres de longueur dont la section intérieure avait $0^m,305$ sur $0^m,152$; il était relié à la galerie d'un ventilateur aspirant au moyen d'un conduit vertical de même section que la caisse. Des registres permettaient de régler le courant d'air. Le tube qui amenait le grisou débouchait dans la caisse près de son extrémité ouverte ; c'est par cette extrémité située en avant de la trémie à charbon qu'entrait l'air. Une première série d'expériences faites avec des poussières seules ne donna jamais d'inflammation. Les poussières expérimentées provenaient de houilles à coke et de houilles à vapeur dont nous avons donné la composition plus haut (*). L'air fut chargé selon les cas de proportions

(*) Voir page 43.

de poussières très variées, depuis un nuage clair à peine visible, jusqu'à un nuage si épais qu'il éteignait la flamme de la lampe. Dans ces conditions, la flamme de la lampe à feu nu parut s'allonger un peu, mais dans aucun cas le mélange ne prit feu. C'est à la suite de ces expériences que M. Galloway formula la conclusion suivante qu'il admit ensuite sans réserve : « Un mélange d'air et de poussières de houille n'est pas inflammable à la pression et à la température ordinaire. »

Nous avons montré plus haut que cette conclusion est beaucoup trop absolue. Si certaines poussières de houille ne sont pas inflammables, d'autres au contraire le sont. Si des poussières sont inflammables dans certaines conditions de vitesse du courant d'air, elles ne le seront pas dans des conditions différentes, etc. Cette première expériencen'est donc pas concluante, car en variant les conditions, les résultats auraient peut-être été différents.

Une seconde série d'expériences fut faite ensuite avec une petite quantité de grisou. On commença par mettre une lampe de sûreté dans l'appareil et l'on régla la quantité du grisou, de façon qu'elle marquât légèrement. On remplaça alors la lampe de sûreté par une lampe à feu nu et l'on introduisit de la poussière par la trémie. Aussitôt que le nuage de poussière vint toucher la flamme, une explosion eut lieu et la caisse se remplit d'une flamme rouge qui continua à brûler aussi longtemps qu'on admit des poussières par la trémie.

Cette expérience prête à quelques critiques. Rien ne prouve qu'au moment de l'introduction de la poussière les proportions relatives de grisou et d'air n'ont pas été changées. La densité du mélange se trouve doublée par l'adjonction des poussières ; la dépression motrice qui entraîne le courant d'air produira donc nécessairement une vitesse moindre sur un mélange de densité plus grande. Le débit du jet de grisou d'autre part ne varie pas, puis-

qu'il se dégage en avant de la trémie à charbon en un point où la pression, qui est celle de l'atmosphère, reste constante pendant la durée des expériences. Les proportions de grisou et d'air sont donc certainement altérées. Il faut ajouter qu'il n'est pas bien sûr que le mélange de l'air et du grisou fût parfaitement intime.

M. Galloway s'est rendu compte des reproches que l'on pouvait faire à ce mode d'expérimentation; aussi a-t-il repris une seconde série d'expériences avec un appareil un peu différent du premier. Le nouvel appareil consiste en une longue caisse en bois ayant deux fenêtres vitrées de part et d'autre de la trémie au lieu d'une seule. Le courant d'air est produit au moyen d'un petit ventilateur actionné par une turbine à vapeur. Le tuyau amenant le grisou débouche dans une des ouïes du ventilateur, ce qui assure son mélange intime avec l'air. Voici la description textuelle de l'expérience donnée par M. Galloway : « Le ventilateur ayant été mis en mouvement, un courant d'air et de grisou traverse l'appareil dans le sens de la flèche. Une lampe de sûreté est alors placée dans la caisse en face de la fenêtre B (celle qui précède la trémie) et la vitesse du courant est accrue en ouvrant les registres jusqu'à ce que la flamme ne marque plus. Après cela on retire la lampe de sûreté et on lui substitue deux lampes à feu nu, une placée en face de chaque fenêtre et par la trémie on donne de la poussière de charbon. Aussitôt que le nuage atteint la flamme placée en D (celle qui suit la trémie), il prend feu ou bien il fait explosion dans une direction contraire à celle du courant ou il remplit la caisse d'une flamme rouge depuis D jusqu'à l'extrémité du courant, suivant la proportion du grisou que contient le mélange.

« Pendant ce temps la flamme placée en B continue à brûler exactement comme auparavant sans donner aucune indication de la présence du grisou. »

Il est assez difficile de discuter ces expériences sur une

description aussi sommaire. Ni la vitesse du courant d'air ni la nature de la houille employée ne sont indiquées ; il n'a pas été fait d'expériences sans grisou pour montrer que le mélange d'air et de poussières n'était pas inflammable dans les conditions de l'expérience. Enfin la critique adressée aux premières expériences s'applique à plus forte raison à celles-ci. L'addition des poussières dans le courant d'air devait diminuer considérablement sa vitesse, car la pression motrice du petit ventilateur était vraisemblablement assez faible. Il est vrai qu'une lampe témoin placée en avant de la trémie aurait continué à brûler comme auparavant pendant la durée de l'expérience. Cela est pourtant difficile à admettre dans le cas où le mélange « a fait explosion dans une direction opposée à celle du courant d'air. » Elle a dû alors s'éteindre au moins momentanément, et qu'est-ce qui prouverait que ce n'est pas à elle que s'est allumé le mélange gazeux devenu combustible?

Ces expériences laissent donc encore comme les précédentes subsister des incertitudes, que nous avons peut être un peu exagérées pour les faire mieux saisir. Quoi qu'il en soit, deux points nous paraissent rester douteux. Les poussières n'étaient-elles pas combustibles à elles seules? Leur addition dans le courant d'air n'en réduisait-elle pas assez la vitesse pour rendre le mélange gazeux explosible?

M. Galloway a complété ces expériences en cherchant à déterminer la proportion minimum de grisou nécessaire pour provoquer l'inflammation des poussières. Il employa le même appareil que précédemment ; il laissait le débit du grisou constant et faisait varier la vitesse du courant d'air pour faire varier la proportion de gaz dans le mélange. Il reconnut que pour une vitesse d'air de $0^m,762$ par seconde le mélange commençait à devenir explosif sans poussières, c'est-à-dire renfermait environ 6,5 p. 100 de grisou. En augmentant progressivement la vitesse et ajoutant des

poussières, le mélange ne cessa d'être explosif que pour une vitesse de $5^m,385$. A cette vitesse la proportion de grisou ne devait plus être que de 0,892 p. 100.

Mais si l'on se reporte aux expériences que nous avons faites, qui sont résumées plus haut, on verra que les poussières combustibles ont cessé de s'allumer à une flamme de lampe pour des vitesses d'environ 4 mètres, soit que les particules de poussières traversant trop rapidement la flamme n'aient pas le temps de s'y allumer, soit qu'une agitation trop violente du mélange d'air et de poussières provoque l'extinction de la flamme comme cela a lieu pour les mélanges gazeux. Il est donc possible que dans les expériences de M. Galloway l'incombustibité du mélange soit due non pas à la trop faible proportion de grisou, mais à la trop grande vitesse du courant d'air.

Expériences de M. le professeur Abel. — Le savant chimiste de Woolwich a fait tout récemment des expériences analogues à celles de M. Galloway, avec des poussières des mines de Seaham et de quelques autres mines où de grands accidents ont eu lieu. Les appareils d'expérimentation étaient établis aux mines de Garswood Hall, à Brynn, près Wigan, où il existe un soufflard de grisou capté dans des conditions semblables à celles qu'a utilisées M. Galloway. Le grisou de cette mine passe pour être particulièrement dangereux ; il est considéré par les mineurs comme étant différent du grisou ordinaire. Ils l'appellent « quick », « sharp », « silver-gaz », etc. Les nombreuses analyses de grisou faites en Angleterre ont toujours donné pour tous les grisous une composition se rapprochant de celle du formène; on aurait donc été très tenté de révoquer en doute l'existence de ce grisou sharp et de la reléguer au nombre des légendes fantastiques. Mais, d'après les expériences de M. Abel, ce grisou semblerait jouir de propriétés fort surprenantes. La limite d'inflammabilité infé-

rieure correspondrait à des mélanges tenant seulement 3 à 4 p. 100 de gaz, et les mélanges inférieurs non inflammables ne donneraient pas d'auréole sur les flammes des lampes. Or tous les expérimentateurs qui ont étudié les propriétés du grisou depuis sir Humphry Davy, et à commencer par lui, ont trouvé que la limite inférieure d'inflammabilité de ce gaz est comprise entre 6 et 7 p. 100. Un gaz qui donne à 3 p. 100 des mélanges combustibles devrait donc être un carbure plus condensé que le formène; mais alors les mélanges inférieurs devraient encore donner une auréole très nette. L'expérience montre, en effet, que l'essence de pétrole, la benzine donnent de très belles auréoles. Si on veut, au contraire, déduire la composition de ce gaz de l'absence d'auréole, on serait amené à le considérer comme un gaz très peu carburé, un mélange de formène et d'hydrogène. Mais alors sa limite inférieure d'inflammabilité serait plus élevée, elle devrait se rapprocher de 10 p. 100, qui est celle de l'hydrogène pur.

La détermination de cette limite inférieure d'inflammabilité fut faite par M. Abel dans l'appareil à expérimenter les poussières. L'entraînement de l'air se faisait au moyen d'un jet de vapeur et des précautions minutieuses avaient été prises pour assurer le mélange intime du grisou et de l'air et mesurer leurs volumes respectifs. Les nombres trouvés ont varié de 3 à 4 p. 100 suivant la rapidité du courant. Ces divergences semblent bien indiquer, malgré les précautions prises, l'imperfection du mélange des deux gaz. Il est, d'ailleurs, extrêmement difficile de mêler intimement deux gaz dans un espace de temps ne dépassant pas une fraction de seconde et il est à peu près impossible de vérifier expérimentalement la perfection de ce mélange (*).

(*) Il est bien à désirer que l'on fasse l'analyse chimique du gaz expérimenté par M. Abel, qui jouit de propriétés très singulières et que nous serions tentés de regarder comme inconciliables entre elles.

Les expériences sur les poussières furent faites en général avec une vitesse de 3 mètres par seconde. Les poussières de la mine de Seaham, qui furent le plus spécialement expérimentées, donnaient à la distillation 20 p. 100 de matières volatiles au maximum.

Parmi les différents échantillons de ces poussières, ceux qui étaient les moins chargés de poussières étrangères donnèrent, la vitesse du courant d'air étant de 3 mètres par seconde, un mélange combustible avec 2,5 p. 100 de gaz. D'autres échantillons donnant 30 à 35 p. 100 de cendres, ne s'enflammèrent qu'avec 3 p. 100 de gaz. On avait trouvé que, en l'absence des poussières, l'air tenant 3,5 p. 100 de gaz était toujours très combustible et que l'air tenant 3 p. 100 l'était quelquefois ; la limite de combustilité du gaz pouvait donc être fixée à 3,25 p. 100 environ.

Il résulte donc de ces expériences que, parmi les poussières de Seaham, les plus pures et les plus sensibles exigent, pour devenir combustibles, une addition de gaz égale aux trois quarts au moins de celle qui, en l'absence des poussières, donne avec l'air seul un mélange combustible.

Avec des poussières provenant des mines de Leycett et ayant une composition chimique peu différente de celle des poussières de Seaham, on a obtenu, la vitesse du courant d'air étant encore de 3 mètres par seconde, des mélanges combustibles avec une addition de 2 p. 100 de gaz seulement. Cette addition représente les 62 centièmes de celle qui donne, avec l'air seul, un mélange détonant.

Enfin, dans quelques expériences faites en donnant à l'air une vitesse très faible, égale à $0^m,50$ par seconde, on a trouvé que 1,5 p, 100 de gaz seulement suffisait à rendre combustibles les poussières de Leycett. Cette proportion est les 43 centièmes de celle qui, mélangée à l'air seul, le rend détonant.

Les critiques que nous avons adressées aux expériences de M. Galloway paraissent pouvoir s'appliquer aussi à

celles de M. Abel. Aucune précaution ne semble avoir été prise pour empêcher que la mise en suspension des poussières dans la masse gazeuse ne diminue l'arrivée de l'air; s'il en est ainsi, la proportion relative du gaz et de l'air variait donc certainement après l'addition des poussières. En l'absence de tout détail sur les procédés d'expérimentation, il est d'ailleurs difficile de discuter les résultats avec précision. Toutefois nous remarquerons que notre critique semble appuyée par ce fait qu'on a trouvé qu'en diminuant la vitesse de l'air, on diminuait en même temps la quantité de gaz nécessaire pour amener l'inflammation des poussières. Ce résultat, qu'il serait difficile d'expliquer autrement, se comprend au contraire très bien lorsqu'on remarque qu'avec une faible vitesse de l'air l'influence retardatrice que les poussières exercent sur celle-ci doit être beaucoup plus grande et que l'addition de celles-ci doit par conséquent accroître très notablement la proportion de grisou contenue dans le courant gazeux.

Quoi qu'il en soit de nos critiques, on voit que les expériences de M. Abel réduisent considérablement le rôle que, d'après M. Galloway, les poussières peuvent jouer dans la combustion du grisou. En effet, tandis que M. Galloway avait trouvé que des poussières, incombustibles par elles-mêmes, peuvent brûler dans un air tenant seulement le septième de la quantité de grisou nécessaire pour former avec l'air seul un mélange détonant, M. Abel a trouvé que, pour produire cet effet, il fallait une proportion de grisou égale aux 43 centièmes de la même quantité. Si l'on élimine, comme au moins douteuses pour les raisons que nous avons déjà dites, les expériences faites avec un courant d'air très lent, cette proportion monterait même aux 62 centièmes.

Dans le cours de ses expériences, M. Abel remarqua que certaines poussières extrêmement terreuses donnaient, au point de vue de l'inflammabilité dans un mélange grisou-

teux d'aussi bons résultats que des poussières de houille pure. Il eut l'idée d'essayer des poussières complètement incombustibles, telles que la magnésie calcinée, le kaolin, et il reconnut avec étonnement que ces matières pouvaient provoquer l'inflammation de mélanges tenant seulement 2,75 p. 100 de gaz. Toutes les poussières légères et poreuses lui donnèrent des résultats analogues. Ici, comme pour les poussières de charbon, on pouvait se demander si l'introduction des poussières ne diminuait pas le débit de l'air. Toutefois on verra plus loin qu'on peut très aisément vérifier l'exactitude du fait singulier observé par M. Abel.

III.

EXPÉRIENCES FAITES PAR LES AUTEURS DU MÉMOIRE.

L'appareil employé pour nos expériences est un long conduit rectangulaire en bois de 0m,40 de hauteur sur 0m,15 de largeur. L'air est lancé par un ventilateur à bras débouchant à l'une des extrémités. La caisse porte près de cette extrémité un registre, s'ouvrant de bas en haut, qui sert à régler la vitesse du courant d'air. Immédiatement derrière ce registre le gaz vient déboucher par une fente étroite traversant le fond de la caisse sur toute sa largeur. Le brassage des deux gaz est assuré autant qu'il peut l'être par la direction rectangulaire des deux courants et par les remous qui se produisent à la suite de l'étranglement sous le registre. Un peu plus loin une caisse, dont le fond percé de trous a la largeur du conduit principal, sert à l'introduction des poussières. Cette disposition nous a semblé préférable à la trémie conique, pour obtenir une répartition égale des poussières dans toute la section du courant d'air. A 2 mètres de la caisse à charbon se trouve une fenêtre vitrée et mobile, derrière laquelle on met la

lampe. Enfin, 60 centimètres après cette fenêtre, se trouve l'extrémité ouverte de la caisse.

N'ayant à notre disposition aucun soufflard de grisou, nous avons dû recourir au gaz d'éclairage. Les mélanges qu'ils donnent avec l'air diffèrent de ceux que donne le grisou en ce que leur température d'inflammation est plus faible et leur vitesse de propagation plus grande. La seule conclusion que l'on puisse tirer de nos expériences est donc qu'avec le grisou on aurait eu des résultats moindres, l'inflammabilité et la force d'explosion étant plus faibles. Nous n'avons pris aucune précaution spéciale pour annuler l'influence des poussières sur le débit de l'air et du gaz. Le ventilateur donnait au maximum une pression de 4 centimètres d'eau; la pression du gaz au manomètre était de 9 centimètres; l'introduction des poussières devait donc diminuer la quantité d'air et le mélange devait s'enrichir en gaz. Si nous avions obtenu des résultats positifs, nos expériences mériteraient par conséquent le même reproche que celles de MM. Galloway et Abel. Mais nos résultats ayant toujours été négatifs, cette cause d'erreur ne peut avoir joué aucun rôle dans nos expériences.

La vitesse du courant d'air a varié de 2 à 4 mètres. Les poussières expérimentées ont été d'une part des poussières non inflammables en l'absence du gaz et provenant des mines d'Anzin ; d'autre part, des poussières inflammables provenant des mines de Blanzy et qui avaient été recueillies sur les chapeaux des boisages. Un autre échantillon de poussières de Blanzy avait aussi été préparé, comme il a été dit plus haut, dans les tonnes à charbon employées pour la fabrication de la poudre.

Les charbons non inflammables seuls sont restés ininflammables en présence du gaz d'éclairage. Nous n'avons jamais rien obtenu tant que la proportion du gaz n'a pas été suffisante pour donner un mélange combustible sans poussières de charbon. Les sources de chaleur employées

ont été une flamme de lampe Davy fortement étalée, un bec de gaz, une grosse boule de papier enflammé. Les proportions de poussières ont varié depuis un nuage à peine perceptible jusqu'à un nuage assez épais pour éteindre la lampe. Les expériences, au nombre de cinquante environ, ont toujours donné le même résultat.

Avec les poussières inflammables à elles seules, nous avions d'abord cru ne trouver aucune différence dans leur combustion en présence de petites quantités de gaz. Mais en répétant souvent ces expériences et observant le phénomène avec beaucoup de soin, nous avons reconnu que la présence du gaz facilitait un peu l'inflammation. C'est ainsi que les poussières de charbon de Blanzy mêlées à l'air pur donnent en arrivant sur la flamme d'une lampe Davy de dimension ordinaire deux ou trois flammèches qui voltigent dans la masse, puis l'inflammation se répand dans tout le mélange ; cette période d'inflammation ne dépasse d'ailleurs pas une seconde. Avec une proportion de gaz d'éclairage qui correspondrait à environ 4 p. 100 de grisou, ce mélange s'est enflammé au contraire immédiatement dans toute la masse ; les premières flammèches s'étant élargies indéfiniment. La période d'inflammation a duré un quart de seconde. Il y a donc eu dans ce cas un effet produit, mais un effet très faible, qui nous avait échappé dans nos premières expériences.

Nous n'avons eu connaissance des expériences de M. Abel sur les poussières inertes que lorsque notre appareil était déjà démonté. Nous n'avons donc pu les répéter dans les mêmes conditions. Nous avons employé l'appareil suivant : un tube en verre vertical de $1^m,50$ de haut et 7 centimètres de diamètre était traversé par un courant ascendant très lent d'un mélange d'air et de gaz d'éclairage. La flamme d'un bec Bunsen était placée en travers de l'orifice supérieur ; elle occupait à peu près le tiers de la section. Le mélange gazeux, en arrivant au con-

tact de la flamme, entourait celle-ci d'une grande auréole bleue. On introduisait alors les poussières, soit par la partie supérieure en les laissant tomber à travers la flamme du bec de gaz, soit par la partie inférieure. Dans ce dernier cas on en emplissait le fond du tube de manière à couvrir l'orifice d'un tube très étroit par lequel arrivait le gaz. La vitesse du courant gazeux soulevait la poussière et produisait dans le gros tube des remous qui maintenaient cette poussière en suspension.

Dans le cas où la poussière arrivait par la partie inférieure, il ne se produisit jamais aucun phénomène particulier; la flamme ne redescendait pas dans le gros tube; il n'y avait, comme précédemment, inflammation du mélange qu'au contact de la flamme. Quant au contraire les poussières tombaient par la partie supérieure, elles étaient portées à l'incandescence en traversant la flamme, et restaient incandescentes pendant toute la durée de leur descente dans le tube; les petits paquets quelles formaient en tombant s'entouraient d'une légère flamme bleue très pâle, qui traversait le tube dans sa largeur comme les poussières, mais sans jamais en remplir toute la section. Quand on chauffait les poussières dans un creuset de platine avant de les projeter dans le tube, l'effet était bien plus intense encore, et le tube entier se remplissait de flammes.

On obtenait ces résultats avec des proportions de gaz comprises entre celles qui correspondraient à des proportions de 3 à 6 p. 100 de grisou.

Ces résultats confirment ceux qui ont été obtenus par M. Abel. Des poussières extrêmement fines, portées au rouge par une flamme, peuvent provoquer par leur contact l'inflammation de mélanges pauvres en grisou; mais il faut ajouter que la flamme ainsi produite ne se propage pas dans un semblable mélange en dehors des trajectoires décrites par les particules incandescentes.

Nous avons fait l'expérience suivante, qui peut, dans

une certaine mesure, servir à expliquer le fait découvert M. Abel. Un pain de magnésie des pharmaciens, tel qu'on le trouve dans le commerce, fut calciné et transformé en magnésie caustique. Le morceau, chauffé au rouge, fut exposé à un courant d'un mélange gazeux non combustible par lui-même. La combustion du gaz se produisit cependant à l'intérieur du morceau, qui resta rouge, pendant tout le temps qu'il fut soumis à l'action du courant gazeux, comme on pouvait s'en rendre compte à travers quelques crevasses.

Cette action des substances poreuses peut s'expliquer assez facilement par les considérations suivantes. Pour qu'un mélange gazeux soit combustible, il est nécessaire que la température de combustion en soit au moins égale à la température d'inflammation, mais dans la plupart des cas cette condition n'est pas suffisante. Imaginons, en effet, une tranche gazeuse infiniment mince qui n'a pas encore brûlé et qui se trouve en contact avec une tranche d'une épaisseur finie qui vient de brûler. Il tend à s'établir un équilibre de température qui amènera la tranche non brûlée au plus à la température des parties brûlées. Pour qu'elle s'enflamme à son tour il est donc nécessaire que sa température d'inflammation ne soit pas supérieure à celle de la combustion des parties brûlées. Mais le transport de chaleur de la partie brûlée à cette tranche non brûlée et la combustion même de cette nouvelle tranche sont deux phénomènes qui exigent un temps fini. Avant qu'ils ne soient entièrement accomplis, la tranche considérée aura en général rayonné elle-même de la chaleur vers les parties froides, elle n'atteindra donc jamais la température des parties brûlées. Il faut ainsi que la température de combustion d'un mélange gazeux soit notablement supérieure à celle d'inflammation pour que, pris à la température ordinaire, il soit combustible. C'est, en effet, ce que l'expérience vérifie. Nous avons trouvé que la température

d'inflammation du grisou est de 650°, et les seuls mélanges combustibles sont ceux dont la température de combustion est supérieure à 1.300°.

Mais si par un artifice convenable on arrivait à empêcher le rayonnement de la tranche non brûlée vers les parties froides, on arriverait à rendre combustibles les mélanges dont la température de combustion est égale à celle d'inflammation. Imaginons une enveloppe sphérique percée de deux trous et formée d'une matière non conductrice de la chaleur ; supposons-la chauffée à 650° et faisons arriver par un des orifices un courant lent d'un mélange gazeux non combustible, mais voisin de la limite de combustibilité. Le gaz va se mettre en équilibre de température avec l'enveloppe sans rien perdre par rayonnement extérieur puisqu'il est entouré de toutes parts. Il arrivera donc à la température de 650° et brûlera, puis restituera à l'enveloppe la petite quantité de chaleur qu'elle lui avait enlevée. Les gaz brûlés sortiront par le second orifice et seront remplacés par un égal volume de gaz sans que la température de l'enveloppe ait changé. La combustion continuera donc indéfiniment.

Le morceau de magnésie poreuse de notre expérience est analogue à cette sphère avec la seule différence qu'il ne constitue pas une enveloppe absolument dénuée de conductibilité. Il y a donc dans ce cas rayonnement d'une certaine quantité de chaleur vers l'extérieur, et l'on ne pourra obtenir la combustion que de mélanges un peu supérieurs au mélange-limite.

Un grain de poussière peut être assimilé au morceau de magnésie. La combustion de gaz se produit dans son intérieur, et une certaine quantité de chaleur se disperse au dehors. Ce mélange échauffe le mélange gazeux compris dans l'intervalle des grains et peut le rendre combustible.

Si cette explication est la vraie, on comprend que les poussières de houille ne puissent en général jouer un sem-

blable rôle; elles sont, en effet, fort peu poreuses et leurs pores sont remplis des gaz provenant de leur distillation. Il ne peut donc pas se produire de combustion gazeuse dans leur intérieur.

Conclusion. — En résumé nous avons trouvé :

1° Que, parmi les poussières essayées par nous, celles qui étaient incombustibles dans l'air, le restaient encore dans un mélange non détonant d'air et de gaz d'éclairage;

2° Que celles qui étaient combustibles par elles-mêmes brûlaient plus facilement, la vitesse de propagation de l'inflammation étant un peu accrue, dans un mélange non détonant de gaz d'éclairage et d'air;

3° Que, lorsqu'un courant gazeux, renfermant une trop faible proportion de gaz combustible pour brûler, mais tenant en suspension des poussières inertes et poreuses, vient à rencontrer une flamme, les poussières portées à l'incandescence au contact de cette flamme peuvent, comme l'a découvert M. Abel, entraîner la combustion du mélange gazeux qui enveloppe les grains de poussière incandescents, mais sans que l'inflammation ainsi produite soit susceptible de se propager dans toute la masse gazeuse.

Nos expériences sont ainsi en contradiction avec celles de M. Galloway sur le même sujet. Elles s'éloignent beaucoup moins de celles de M. Abel, sans être cependant en accord avec elles. Ces divergences tiennent-elles à la nature des poussières que nous avons employées? Tiennent-elles à la difficulté d'évaluer la proportion de grisou que contient l'air après qu'on y a mis les poussières en suspension? C'est ce que des expériences nouvelles faites par d'autres observateurs peuvent seules nous apprendre. Nous ne pouvons, en attendant, que nous en tenir aux résultats que nous avons obtenus.

Il paraît bien certain, en tous cas, que l'influence du grisou sur la combustibilité des poussières, si elle n'est pas

tout à fait nulle, est au moins beaucoup plus faible qu'on ne l'avait d'abord pensé.

Il faut ajouter que, même en supposant la réalité de cette influence, les poussières incombustibles, mais pouvant brûler grâce à la présence du grisou, ne seraient pas plus dangereuses que les poussières combustibles par elles-mêmes. Il y aurait, dans l'un et l'autre cas, la même nécessité d'une action mécanique initiale fort intense pour mettre en suspension des quantités suffisantes de poussières ; la même lenteur extrême dans la propagation et l'inflammation ; la même rapidité des poussières à se précipiter, et par suite la même impossibilité d'avoir des effets comparables à ceux d'une véritable explosion, en l'absence d'un mélange gazeux détonant. En d'autres termes, l'influence contestée n'aurait pour résultat que d'exposer, en ce qui regarde les poussières, les mines grisouteuses à poussières non combustibles aux mêmes dangers que les mines non grisouteuses à poussières combustibles. Or, nous avons vu plus haut que ces dangers sont en réalité fort peu redoutables.

CHAPITRE III.

POUSSIÈRES EN PRÉSENCE D'UN MÉLANGE COMBUSTIBLE DE GRISOU ET D'AIR

Ce cas dont on s'est peut-être le moins occupé nous paraît cependant de beaucoup le plus grave. L'intervention des poussières dans les grands accidents de grisou est incontestable; les fumées abondantes qui s'échappent par les puits, les croûtes de coke déposées sur les boisages en sont une preuve certaine. Ces poussières aggravent les conséquences de l'explosion de deux façons bien distinctes ; d'une part,

elles accroissent la force de l'explosion proprement dite, c'est-à-dire la pression produite ainsi que le volume et la température de la flamme; d'autre part, elles augmentent le volume et surtout la nature des gaz asphyxiants qui après l'accident parcourent toute la mine en abattant sur leur passage les ouvriers qu'ils rencontrent.

Dans les conditions normales de l'exploitation d'une mine, la proportion de grisou n'est jamais suffisante pour brûler tout l'oxygène, et dans la plupart des cas le mélange explosif n'occupe qu'une faible partie des galeries et des espaces vides; il s'amasse dans les points les plus élevés par suite de la faible densité du grisou. Au moment d'une explosion il reste donc toujours de l'oxygène disponible pour brûler les nuages de poussières soulevés par les courants de gaz enflammés. Les poussières non brûlées, se trouvant au milieu d'une atmosphère à une température très élevée, distillent une partie de leur gaz.

La combustion d'une partie des poussières augmente la température et par suite la dilatation de la masse gazeuse, ou sa pression dans les premiers instants et avant que la détente ait pu se produire. La distillation des poussières non brûlées augmente le volume du gaz et par suite aussi la pression.

Après une explosion le refroidissement des gaz doit être assez rapide. Nous avons constaté que le mélange tonnant de grisou et d'air enflammé dans un cylindre en fer de 20 centimètres de diamètre, se refroidit assez vite pour qu'au bout de cinq secondes la température du mélange ne dépasse plus que d'une vingtaine de degrés la température ambiante. On peut supposer que dans une galerie de mine, la durée du refroidissement ne doit pas dépasser quelques minutes. Les effets dus à la température du gaz ne se font donc sentir qu'à une distance restreinte du point d'origine. de l'explosion.

Mais après leur refroidissement les produits de la

combustion continuent encore à agir par leur composition chimique ; ils se mêlent en effet aux courants d'air qui traversent la mine et la rendent délétère, soit en diminuant sa proportion d'oxygène normal jusqu'à lui communiquer des propriétés asphyxiantes, soit en y introduisant une quantité d'oxyde de carbone susceptible de lui communiquer des propriétés toxiques.

Le grisou en présence d'un excès d'air brûle en donnant de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau suivant la formule.


$$C^2H^4 + 8O = 2CO^2 + 4HO$$

Sauf dans des cas exceptionnels (à l'accident de Frameries par exemple), le grisou est toujours en présence d'un excès d'air ; il ne donnera donc, lors d'une explosion, que de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau sans oxyde de carbone, c'est-à-dire un mélange simplement asphyxiant, mais non toxique, et même ce mélange sera relativement peu asphyxiant, car il contiendra généralement de l'oxygène en excès qui n'aura pas pris part à la combustion. Aussi, pourra-t-il arriver qu'après une petite explosion un ouvrier, tombé au passage de la bouffée de gaz brûlés, revienne à lui après le retour de l'air frais et le rétablissement de la ventilation normale.

Le cas d'un mélange avec excès de grisou, bien que ne devant se rencontrer qu'exceptionnellement, est néanmoins intéressant à étudier. Un mélange d'air et de grisou tenant 12,2 o/o de ce gaz devrait brûler d'après la formule


$$C^2H^4 + 6O = 2CO + 4HO$$

Mais il résulte d'une série d'analyses eudiométriques faites par nous que la proportion d'oxyde de carbone est bien moindre que celle qui résulterait de cette équation. Pour les mélanges à 12,2 o/o du grisou les 2/3 du carbone brûlent pour acide carbonique et 1/3 seulement pour oxyde

du carbone. Après combustion l'air renferme donc 4 p. 100 de son volume d'oxyde de carbone.

Cette quantité est certainement encore très toxique, 0,3 p. 100 d'oxyde de carbone suffisant pour donner rapidement la mort; mais les conditions convenables pour la production de quantités d'oxyde de carbone aussi considérables ne se rencontrent sans doute que très rarement.

Si l'on vient à ajouter des poussières au mélange de grisou et d'air les conditions changent immédiatement. Une plus grande proportion d'oxygène, sinon la totalité, est alors brûlée, ce qui augmente déjà le pouvoir asphyxiant des gaz de la combustion. Mais, ce qui est bien plus grave, il peut se former des proportions considérables d'oxyde de carbone, non pas seulement d'une façon exceptionnelle comme dans le cas du grisou seul, mais d'une façon normale; car la couche de poussière répandue sur les voies est toujours assez abondante pour laisser encore du carbone libre après avoir brulé tout l'oxygène contenu dans l'air des galeries. Les croûtes de coke trouvées après les coups de grisou montrent bien que, au moment de l'explosion, du carbone à une température élevée s'est trouvé en contact avec les produits de la combustion et a pu réduire ainsi partiellement l'acide carbonique.

Les poussières peuvent encore former de l'oxyde de carbone d'une façon différente et par simple distillation. Les houilles sont oxygénées, et, pendant leur calcination, cet oxygène se dégage à l'état de vapeur d'eau, d'acide carbonique, et d'oxyde de carbone. On sait, en effet, que le gaz d'éclairage renferme de l'oxyde de carbone ; quelques analyses donneraient même une proportion de 10 p. 100. Il est vrai que dans sa fabrication le gaz d'éclairage reste longtemps dans la cornue à une température élevée, ce qui favorise la formation de l'oxyde de carbone aux dépens de l'acide carbonique et il se pourrait que dans la distillation brusque des poussières suivies d'un refroidissement rapide

il se forme beaucoup moins d'oxyde de carbone. De toute façon cette proportion sera très variable selon les circonstances, suivant la quantité de poussière mise en suspension, la grosseur du grain, la nature de la houille. Les observations faites après les accidents n'ont fourni jusqu'ici aucun renseignement précis sur cette question.

Ces quelques considérations montrent donc d'une façon bien certaine que les poussières jouent un rôle dans les explosions de grisou, et ce rôle est double ; elles augmentent l'intensité proprement dite de l'explosion et elles accroissent le pouvoir délétère des produits gazeux.

Mais dans quelle proportion les effets d'une explosion de grisou peuvent-ils être ainsi amplifiés? Cela est certainement très variable. Dans certains cas l'influence des poussières est absolument nulle ; un amas de grisou isolé au toit d'une galerie, peut prendre feu sans venir enflammer les poussières répandues sur le sol de la galerie, surtout dans une mine peu poussiéreuse et humide. Dans d'autres circonstances, au contraire, des poussières abondantes, sèches, très inflammables et très oxygénées, pourront jouer un rôle considérable. Il a dû en être ainsi à l'accident du puits Sainte-Marie où l'on a vu une épaisse fumée noire sortir par les puits au moment de l'explosion. Mais il est impossible de préciser la part qui revient dans les conséquences de l'accident aux poussières et au grisou, ni même de dire laquelle de ces deux parts a été la plus grande. Il y a là une inconnue qui échappera sans doute longtemps à toutes les recherches et sur laquelle il faudra se contenter d'appréciations assez vagues.

CHAPITRE IV

PRÉCAUTIONS A PRENDRE CONTRE LES POUSSIÈRES

Si l'on a beaucoup discuté dans ces derniers temps sur les dangers des poussières, on n'a fait que peu de tentatives pour remédier à ces dangers. Les précautions que l'on pourrait recommander sont, en effet, fort difficiles à mettre en pratique. Il a pourtant été fait quelques essais dans cette voie aux mines de Dinas et de Llwynipia en Angleterre par M. Galloway ; aux mines de Blanzy et au puits Jabin en France.

Le procédé exclusivement employé a été l'arrosage des voies principales du roulage. Aux mines de Llwynipia cet arrosage se faisait au moyen de waggonets-réservoirs que l'on traînait à la suite des trains de charbon. La consommation d'eau était de 10 mètres cubes d'eau par jour. Cette quantité d'eau suffisait, d'après M. Galloway, pour maintenir la mine humide et mouillée.

En France on fait depuis une dizaine d'années un arrosage semblable aux mines de Blanzy.

Au puits Jabin on essaya en 1866 l'emploi du chlorure de calcium, mais on n'en a pas obtenu les résultats que l'on espérait.

Dans les essais faits jusqu'ici on ne s'est peut-être pas préoccupé d'une façon suffisante des rôles divers que les poussières peuvent jouer dans les accidents de mines. Les précautions doivent évidemment être appropriées à la nature des dangers que l'on se propose de combattre. Nous avons vu que les accidents de poussières se divisent en trois catégories bien distinctes correspondant aux causes qui ont déterminé leur inflammation : *lampes*, *coups de mine* ou *coups de grisou* plus ou moins général. Pour prévenir ces différentes catégories d'accidents il faudra employer des précautions

différentes dont la réalisation pratique, très facile pour les uns, est, au contraire, presque impossible pour les autres.

Les inflammations aux *lampes à feu nu*, très peu graves d'ailleurs, se produisent aux points où l'on remue des quantités considérables de charbon, c'est-à-dire dans les chantiers, au voisinage des culbuteurs et des trémies. Il est impossible en ces points d'éviter la production des nuages de poussières, mais on peut éviter d'une façon certaine tout danger en employant, au lieu de lampes à feu nu, des lampes à treillis métalliques ou même de simples lanternes. Cette précaution, facile à réaliser, devra être employée toutes les fois que le charbon donnera des poussières facilement inflammables. On peut très rapidement s'assurer de la combustibilité ou de la non-combustibilité des poussières par le procédé que nous avons indiqué plus haut (*).

L'inflammation par les *coups de mines* a toujours été produite par des coups fortement chargés, débourrant au ras du sol, au voisinage d'une couche de poussières plus ou moins épaisse. Souvent aussi le coup avait été bourré avec de la poussière fine de charbon. La meilleure précaution à prendre pour éviter les accidents de cette nature, surtout quand on tire un coup de mine au ras du sol, consiste à balayer la sole du chantier et les boisages sur une longueur de 3 mètres comptés à partir du coup de mine. L'arrosage serait moins efficace et généralement bien plus difficile à réaliser. Il va de soi qu'on ne doit dans aucun cas bourrer avec des poussières de charbon, il faut éviter aussi les coups trop fortement chargés. Ces précautions sont particulièrement importantes quand on a affaire à des charbons donnant des poussières facilement inflammables, mais on n'oserait affirmer qu'elles sont complètement inutiles dans les autres cas.

(*) Voir page 57.

On a reproché au balayage d'augmenter les dangers des poussières en facilitant leur mise en suspension. Le reproche est fondé si l'on considère l'instant précis auquel on fait le balayage; il faut avoir soin d'éviter à ce moment le voisinage d'une flamme non protégée, d'une lampe à feu nu. Mais aussitôt l'agitation cessée, la poussière se dépose avec une extrême rapidité, et au bout de quelques secondes il n'en reste plus en suspension qu'une quantité très faible et tout à fait insuffisante pour former un mélange combustible, quoiqu'elle puisse encore exercer une action considérable sur nos organes, troubler notre vue et notre respiration. C'est là un fait d'expérience, mais un raisonnement très simple permettrait de l'établir *a priori*. Pour qu'un mélange de poussière et d'air soit combustible il faut, d'après les déterminations de M. Galloway, qu'il renferme environ 1 p. 100 de poussière par mètre cube. La densité d'un semblable mélange est double de celle de l'air. Supposons un tel mélange formé en un point d'une galerie; à la surface de séparation de ces mélanges et de l'air pur, leur différence de densité produira des différences de pression de 1 mètre d'eau sur 1 mètre de hauteur. En vertu de cette différence de pression, l'air tend à se substituer au mélange à la partie supérieure, tandis que celui-ci tombe vers le sol. La vitesse avec laquelle l'air se précipite est, pour une différence de pression de 1 mètre d'eau, de 4 mètres par seconde. On voit donc qu'un mélange, de densité convenable pour être combustible, se détruit nécessairement avec une très grande rapidité.

Les inflammations de poussières se produisant au milieu d'une *explosion de grisou* sont bien plus difficiles à prévenir, car les mesures de précaution doivent alors s'étendre à la mine tout entière. Ces précautions, du reste, seraient utiles pour toutes les mines grisouteuses quelle que soit la nature du charbon; toutes les poussières de houille, en effet, deviennent combustibles quand elles ont été portées

au rouge par une flamme quelconque ; elles le seront donc quand elles se trouveront au milieu d'une explosion de grisou. On peut seulement dire que l'aggravation du danger causée par les poussières sera d'autant plus forte que celles-ci seront plus gazeuses.

La première précaution, qui s'indique d'elle-même, est d'employer une méthode d'exploitation produisant et laissant le moins de poussières possible. Il faudra éviter les transbordements, les traînages par panier et surtout la descente du charbon par des cheminées, faire arriver autant que possible la mine jusqu'au chantier. On devra de plus remblayer avec soin pour enterrer les poussières dont la production pendant l'abatage est impossible à prévenir. La méthode générale d'exploitation devra être combinée de façon à réduire au minimum le volume des espaces libres non remblayés, voies de roulage, de traçage, d'aérage, chantiers, etc.

Il est néanmoins complètement impossible d'éviter l'accumulation des poussières dans les chantiers et sur les voies de roulages. Dans les chantiers qui se déplacent tous les jours il est impossible de prendre des mesures d'ensemble contre les poussières ; il serait aussi difficile de les y supprimer que d'y empêcher les dégagements du grisou. Sur les voies de roulage, la précaution la plus efficace et aussi la plus facile à réaliser serait un balayage renouvelé à des intervalles de temps périodiques, tous les deux mois par exemple. Cette poussière serait emportée au jour ou jetée dans les remblais. Nous rappellerons que la poussière soulevée par le balayage est seulement gênante, mais n'est pas une cause de danger. On pourrait, du reste, éviter ce faible inconvénient en faisant précéder le balayage d'un léger arrosage. Si l'on trouvait cette précaution trop compliquée pour l'étendre à toutes les voies de roulage, on pourrait se borner aux points qui présentent une importance capitale pour la sécurité générale de toute la mine,

tels que le voisinage des puits, les bifurcations d'aérage, les communications reliant deux ou plusieurs quartiers.

Le second moyen auquel on peut songer pour combattre les poussières et le seul qui ait été systématiquement appliqué jusqu'ici est l'arrosage. On pourra certainement en obtenir de bons résultats en employant des quantités d'eau suffisantes. Le rôle de cet arrosage pour empêcher le soulèvement des poussières est d'ailleurs assez complexe et il est utile d'en analyser de près le mécanisme pour se rendre compte des conditions dans lesquelles il doit être employé.

L'eau en s'évaporant dans l'air le rend plus humide et cette humidité paraît s'opposer à la mise en suspension des poussières très fines dans l'air en repos. On sait que dans les temps humides l'atmosphère est beaucoup plus transparente par suite du dépôt d'une partie notable des poussières solides qu'elles renferme habituellement en suspension, mais les quantités de poussières qui se soulèvent ainsi dans un air en repos sont des infiniment petits absolument négligeables dans le cas qui nous occupe ici. A ce point de vue, le rôle de l'eau est sans importance, et son emploi n'aurait aucune raison d'être.

L'eau peut encore agir sur les poussières en les mouillant complètement; elle les retient alors collées par capillarité et s'oppose d'une façon absolue à leur soulèvement, même sous l'action de courants d'air violents. Dans ces conditions, l'emploi de l'eau serait un préservatif excellent contre le danger des poussières. Mais pour arriver à maintenir toutes les poussières d'une mine humides, il faudrait de telles quantités d'eau pour remplacer celle qui enlevée par l'évaporation que pratiquement il serait difficile d'obtenir ce résultat.

Prenons par exemple une mine où il passe 40 mètres cubes d'air par seconde ou 3.400.000 mètres cubes en vingt-quatre heures. Chaque mètre cube d'air saturé à

20° doit renfermer 19 grammes de vapeur d'eau. D'autre part, la proportion de vapeur contenue dans l'air extérieur oscille généralement entre 5 et 15 grammes. Par un jour froid et sec, la quantité d'eau que la ventilation pourra enlever par évaporation de la mine que nous considérons sera de 600 grammes par seconde ou de 54.000 kilog. par vingt-quatre heures. Il serait certainement très difficile de répandre d'une façon uniforme dans toute une mine une telle quantité d'eau.

Il est vrai que bien souvent les mines sont plus ou moins humides ; il y existe des venues d'eau naturelles parfois beaucoup plus abondantes qu'on ne le voudrait. Les endroits secs et poussiéreux n'occupent que des surfaces relativement restreintes. L'air de la mine est généralement humide. Dans ces conditions, qui sont, il faut le reconnaître, assez générales, on pourra essayer l'arrosage avec plus de chances de succès ; l'eau s'évaporera moins vite dans une atmosphère humide et aura moins souvent besoin d'être renouvelée.

On a proposé de différents côtés d'ajouter aux eaux d'arrosage du chlorure de calcium. Ce sel déliquescent s'oppose à l'évaporation complète de l'eau, mais la quantité d'eau ainsi enlevée est proportionnelle au poids de chlorure de calcium. On ne peut guère espérer que ce produit retienne beaucoup plus de son poids d'eau ; on voit ainsi la quantité énorme qu'il faudrait en employer et la dépense qui en résulterait.

L'eau exerce encore sur les poussières une action spéciale dont on ne paraît pas s'être préoccupé jusqu'ici et qui pourtant fournirait peut-être l'argument le plus solide à donner en faveur de l'arrosage. On sait que toutes les poussières fines qui ont été mouillées s'agglomèrent ensuite par dessiccation ; quelques-unes, comme l'argile, le blanc d'Espagne, la poudre d'émeri prennent même ainsi une dureté assez grande. Nous avons reconnu que la poussière de

houille s'agglomère aussi de cette façon, mais sa cohésion est généralement assez faible à cause de la grosseur et de l'irrégularité des dimensions de ses grains. Cette cohésion pourrait sans doute être augmentée considérablement en ajoutant à l'eau de l'argile, de la chaux, ou du sel marin qui contribueraient ensuite à durcir la masse par dessication, carbonatation, ou cristallisation. On ne pourrait évidemment pas espérer que cette agglomération une fois formée pût durer indéfiniment, elle serait détruite plus ou moins rapidement par les pas des hommes et des chevaux. Il faudrait donc renouveler de temps en temps cet arrosage, surtout aux points où la circulation est active.

Il n'est pas besoin de faire remarquer que l'arrosage, pour être efficace, doit dans tous les cas être fait de façon à imbiber d'eau toutes les poussières; celles-là seules qui auront été mouillées directement pourront être préservées contre l'action du courant d'air. Un filet d'eau qu'on laisserait couler simplement au milieu de la galerie ne servirait à rien. L'arrosage doit être fait à la pomme d'arrosoir de façon à répandre également l'eau partout, c'est là ce qui rend son emploi si difficile et ce qui permet de douter qu'il soit accepté jamais d'une façon générale dans la pratique courante des mines.

Conclusion. — De cette discussion sur les moyens préventifs à employer contre les poussières on peut tirer les conclusions suivantes.

Les inflammations des poussières aux lampes à feu nu, qui sont assez fréquentes, peuvent être évitées en remplaçant les lampes à feu nu par des lampes de sûreté ou même par de simples lanternes. Ce moyen préventif est certainement efficace et de plus sa réalisation est facile. Il devra donc être employé dans tous les cas où l'on se trouvera en présence de poussières donnant avec l'air des mélanges inflammables.

Pour prévenir les inflammations de poussières occasionnées par le tirage des coups de mine, il sera bon, surtout pour les coups tirés au ras du sol de prendre des précautions spéciales pour éviter le débourrage, telles que faibles charges, bourrage soigné, etc. On pourra de plus balayer et enlever les poussières sur une certaine longueur. Ces précautions seront particulièrement importantes dans les mines grisouteuses, où une inflammation d'une petite quantité de poussière peut allumer des amas de grisou et entraîner par suite un grand accident. Dans les mines non grisouteuses, il suffira peut-être que les ouvriers se retirent un peu plus loin dans les cas où l'on a affaire à des poussières facilement inflammables. Il n'y a pas en effet d'exemples connus de flammes et de poussières ayant dépassé 50 mètres. La rareté des accidents de cette nature et leur peu d'importance fait hésiter à recommander de plus grandes précautions qui auront certainement d'autant moins de chances d'être suivies qu'elles seront plus compliquées.

Enfin, pour prévenir l'aggravation des accidents de grisou occasionnés par les poussières, c'est-à-dire le seul danger vraiment sérieux qu'elles présentent, on devra s'attacher à employer une méthode d'exploitation laissant le moins d'espaces vides possible, et en même temps produisant le moins de poussières, c'est-à-dire que les bennes qui emportent le charbon au jour devront arriver autant que possible aux chantiers pour y être chargées directement, et les remblais devront suivre de très près les fronts de taille. Comme mesure de précaution tout à fait accessoire, on pourra encore essayer d'enlever les poussières des voies de roulage et des abords des puits ; mais il ne faut pas se dissimuler que cet enlevage n'est possible que sur une petite fraction des espaces vides qui peuvent être parcourus par la flamme du grisou. Dans une mine où les remblayages ne seront pas soignés, où il existerait des chambres non éboulées, cette précaution serait bien superflue. Au lieu

d'enlever les poussières, on pourra aussi essayer l'arrosage, mais évidemment une agglomération des poussières, quelque parfaite qu'elle soit, n'équivaudra jamais à leur suppression complète.

CONCLUSIONS

La longue discussion à laquelle nous nous sommes livrés nous a permis de mettre en relief un certain nombre de faits, qui paraissent aujourd'hui acquis d'une façon certaine, tandis que quelques autres restent encore douteux.

L'étude des accidents, dus certainement aux poussières seules, nous a permis d'abord de formuler quelques conclusions importantes.

En premier lieu, ces accidents sont *extrêmement rares;* on n'en connaît qu'une douzaine, tant en France qu'à l'étranger; pourtant le concours des circonstances qui a occasionné chacun d'eux n'a rien d'exceptionnel, et il s'est vraisemblablement reproduit souvent sans entraîner aucune circonstance fâcheuse.

En second lieu, ces accidents sont *peu graves;* ils n'ont jamais entraîné mort d'homme immédiate; la flamme ne s'est jamais étendue sur plus de 50 mètres de longueur.

Les accidents plus considérables que l'on avait cru pouvoir attribuer aux poussières ont toujours eu lieu dans des mines grisouteuses. Les mines non grisouteuses n'ont jamais été le théâtre de grandes explosions, bien qu'un certain nombre d'entre elles donnent des poussières très abondantes et très inflammables. Il en est particulièrement ainsi pour les mines de lignite, quoique les poussières de lignite soient beaucoup plus combustibles que les poussières de houille. Ces faits ne permettent pas de douter que, dans toutes les explosions importantes, c'est le grisou qui a joué le rôle principal.

Enfin tous les accidents, qu'on peut avec certitude attribuer aux poussières, ont été occasionnés par le *débourrage de coups de mines* tirés au raz du sól. Des inflammations assez nombreuses se sont bien produites avec des lampes à feu nu, mais elles n'ont jamais eu de conséquences sérieuses.

Les expériences faites sur les poussières viennent confirmer ces faits et en donnent l'explication.

Nos expériences ont montré que les poussières, pour être combustibles, devaient provenir de *houilles très gazeuses*, donnant au moins 30 p. 100 de matières volatiles à la distillation. Cela explique la rareté des accidents de poussières, car dans le plus grand nombre des mines les poussières ne remplissent pas ces conditions.

Tous les expérimentateurs ont reconnu qu'il fallait une *quantité considérable* de poussières dans l'air pour former un mélange explosif. D'après M. Galloway, ces mélanges devraient être formés de poids égaux de poussière et d'air, c'est-à-dire contenir dix fois plus de poussières que la quantité qui pourrait être brûlée en totalité. Cette proportion énorme est bien supérieure à celle qui peut se trouver normalement en suspension dans l'air, même aux endroits les plus poussiéreux d'une mine. C'est là une des causes de la rareté des accidents de poussières. Il faut des circonstances toutes spéciales, une agitation extrêmement violente de l'air, telle que celle produite par un coup de mine qui débourre, pour soulever des poids suffisants de poussière.

Nous avons en outre constaté, ce qu'il était aisé de prévoir, que les poussières se *précipitent avec une très grande rapidité* et en très grande abondance dès que la cause qui, en agitant l'air, avait provoqué leur mise en suspension, a cessé de faire sentir son action.

Nos expériences ont montré encore que la *vitesse de propagation* de la flamme dans les mélanges est très faible et même à peu près nulle.

Ces deux faits expliquent le peu d'étendue des inflammations dues aux poussières. Celles-ci se déposent, en effet, avant que la flamme ait eu le temps de s'étendre dans tout le nuage soulevé.

Une seconde conséquence très importante de cette faible vitesse de propagation est que les combustions de poussières ne sont *pas explosives*. Telle est la principale raison du peu d'importance des accidents qu'elles occasionnent. Le vent produit par leur combustion n'est pas assez violent pour aller soulever plus loin de nouvelles quantités de poussières. Les poussières qui brûlent ne sont ainsi qu'une partie de celles qui ont été soulevées et allumées directement par une cause étrangère.

Les expériences faites par MM. Hall et Clark sur l'effet du débourrage des coups de mines confirment cette conclusion, car ces habiles expérimentateurs ont reconnu qu'il y a proportionnalité exacte entre la longueur de la flamme, dans une combustion de poussières, et la force des coups de mine qui l'a occasionnée.

La conséquence bien certaine de tous ces faits est donc que les poussières, au moins lorsqu'elles sont seules, sont très peu dangereuses.

Lorsqu'aux poussières vient s'ajouter une proportion de grisou inférieure à 5 p. 100, l'aggravation de danger qui peut résulter de cette addition est très diversement appréciée. Conformément aux observations qui nous sont personnelles, nous croyons que cette aggravation est sans importance, et que l'existence, dans la masse gazeuse, d'une proportion de grisou inférieure à 5 p. 100 ne suffit pas pour rendre combustibles des poussières qui ne le sont pas d'elles-mêmes, et n'augmente que fort peu les conséquences produites par l'inflammation de celles qui peuvent brûler dans l'air seul.

Quand la proportion de grisou mélangé à l'air devient suffisante pour produire un mélange explosif, l'addition des poussières mises en suspension dans l'air aggrave certaine-

ment les conséquences de l'explosion, non seulement en en augmentant la violence, mais probablement aussi en accroissant la proportion d'oxyde de carbone formée par la combustion, et en rendant beaucoup plus toxiques les gaz qui se répandent dans la mine après un coup de grisou. Cette dernière cause de danger paraîtra sérieuse si on se rappelle que, dans presque tous les accidents importants de grisou, le plus grand nombre des victimes a dû la mort non aux brûlures, mais à l'asphyxie ou à l'empoisonnement amenés par les gaz qu'avait produits la combustion.

Malheureusement il est fort difficile d'apprécier avec quelque précision l'étendue du rôle que les poussières jouent dans un coup de grisou, et jusqu'à présent les divers expérimentateurs qui nous ont précédés n'ont pas trouvé plus que nous le moyen de soumettre cette question au contrôle de l'expérimentation.

Quoi qu'il en soit, nous considérons comme établi que *les poussières, en l'absence du grisou, ne constituent pas une cause de danger sérieuse. Elles ne peuvent jouer un rôle important qu'en aggravant les conséquences d'une explosion produite par le gaz.*

Le grisou en proportion susceptible de faire explosion, tel est donc l'ennemi principal contre lequel il faut diriger tous ses efforts ; les poussières ne viennent qu'en second rang et très loin derrière.

MÉMOIRE
SUR
LA FORMATION DE LA HOUILLE

Par M. C. GRAND'EURY.

I

PARTIE BOTANIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

La formation de la houille est, sans contredit, une des questions qui ont le plus exercé la sagacité des géologues : toutes les idées se sont donné carrière, toutes sortes d'hypothèses ont été mises en avant, et aujourd'hui encore on voit naître de nouvelles théories pour expliquer l'origine de cette roche carbonée.

Il est curieux de voir que les opinions émises sont non seulement très nombreuses, mais variées, divergentes et même diamétralement opposées.

C'est que la houille est de nature organique, à parties peu discernables, et par cela même il est aussi difficile d'en expliquer l'origine que les transformations successives.

Aussi n'oserais-je prétendre fixer les idées sur tous les détails de sa formation ; je serais assez heureux, si je parvenais à déblayer le terrain, en écartant les hypothèses que contredisent les faits, et à montrer de quel côté est la solution en parcourant une partie du chemin à suivre.

La houille étant composée — et on le verra — de débris

et de détritus végétaux, il me paraît logique d'examiner tout d'abord leurs différents états fossiles et leur arrangement dans la houille même, car par ce moyen j'obtiendrai les éléments d'une théorie basée sur l'observation.

En premier lieu, je passerai en revue les états de désintégration et de gisement des plantes fossiles, ces états étant de nature à éclairer sur les circonstances qui ont précédé et accompagné leur enfouissement.

En observant ensuite comment la houille est composée de débris végétaux, j'espère parvenir à déterminer le véritable procédé qu'a employé la nature pour former les couches de ce combustible.

L'étude que j'ai faite des plantes fossiles dans leurs relations avec le terrain houiller, renseignera sur les conditions générales du phénomène. Sous ce rapport, le mémoire actuel se lie à mes recherches de botanique fossile publiées sous le haut patronage de l'Institut ; plus que cela, il est fondé en partie sur ces recherches. Il serait en effet bien difficile d'expliquer la formation de la houille sans connaître la nature de la végétation et les conditions topographiques de son développement, non moins que les différents états fossiles des débris organiques dont se compose le charbon minéral. Du moins je n'ai pas cru pouvoir publier avantageusement les observations que j'ai faites depuis longtemps sur la houille et le terrain houiller avant d'avoir acquis des idées suffisamment nettes sur la végétation, cause et objet de la formation qui nous occupe. On verra, par exemple, que la connaissance exacte des stigmariées éclaire la question d'un nouveau jour.

Afin d'arriver à des conclusions plus générales et de les relier par degré aux phénomènes actuels, j'ai étendu mes recherches aux stipites et aux lignites, c'est-à-dire aux combustibles secondaires et tertiaires, et étudié le tourbage et autres productions semblables du monde vivant.

J'ai interrogé en un mot tous les faits présents et passés

concernant la houille, et je me plais à croire que l'analogie me permettra d'établir assez de propositions pour pouvoir, en les rapprochant et généralisant, reconstituer à grands traits l'ordre de choses qui a régné à l'époque houillère et présidé à la formation des couches de houille. J'ai mis tout en œuvre pour y parvenir, persuadé de plus en plus qu'on n'aura une bonne théorie des houilles que quand on aura fait revivre les temps de leur formation.

Comme méthode d'exposition, je décrirai, à chaque point de vue, les faits que j'ai observés, et je tirerai ensuite, au fur et à mesure, les conséquences qu'ils impliquent.

SECTION I.

ÉTAT DE DÉSINTÉGRATION DES PLANTES FOSSILES.

Dissociation des organes; — disjonction des couches corticales; — désorganisation interne des tiges; — morcellement, détrition et dissolution des débris végétaux.

Dissociation des organes. — On trouve pour ainsi dire invariablement tous les végétaux du terrain houiller à l'état de parties isolées et dispersées, au grand désespoir du paléontologiste, qui, le plus souvent, n'a pas d'autre moyen de rajuster entre eux les organes de plantes très différentes de celles d'aujourd'hui que celui de les trouver encore réunies : les tiges rompues sont séparées des racines, les organes appendiculaires sont détachés; on n'a pas encore trouvé d'arbres plus ou moins complets comme ceux tombés dans les marais ou comme ceux que les fleuves arrachent à leurs rives et déposent à leur embouchure.

Les inflorescences et surtout les graines sont détachées,

de manière à nous laisser dans l'ignorance la plus complète de leurs attributions génériques ; ainsi j'ai observé à cent endroits différents un très grand nombre de *Macrostachya infundibuliformis* sans pouvoir en découvrir un seul encore attaché à quelque tige ou branche.

Si l'on trouve souvent des branches et rameaux feuillés de *Lepidodendron*, les sommets de Sigillaires couronnés de feuilles sont extrêmement rares. Il ne m'a pas été possible de découvrir une extrémité de tige de *Calamodendron* pourvue de ses organes appendiculaires, et l'on doit désespérer de mettre jamais la main sur une tige de fougère en possession de ses frondes.

Le *Calamites foliosus* est presque toujours effeuillé ; dans le Roannais, le *Bornia transitionis* est toujours privé de ses feuilles, et celles-ci se trouvent très rarement isolées même à l'état de vestiges. A l'exception de *Poacordaïtes*, les autres Cordaïtes offrent rarement des extrémités de branches munies de feuilles ; M. Stur m'a dit n'en avoir pas trouvé une seule dans les houillères autrichiennes. Si les *Dicranophyllum* ont conservé tout ou partie de leurs feuilles, c'est parce que celles-ci ne sont pas caduques ; et encore dans certains schistes permiens les feuilles non articulées de *Walchia* se rencontrent disséminées parmi d'autres menus débris végétaux.

A cela je dois ajouter comme correctif que les écailles de *Lepidostrobus* et les *Cyperites* gisent souvent dans un court rayon avec les axes qui les ont portés ; de même, les verticilles et collerettes séparés d'*Annularia* et de *Sphenophyllum* se rencontrent souvent à côté de parties plus complètes des mêmes fossiles.

Toutefois les parties isolées des Verticillaires ont été déboîtées aux articulations, les tiges calamitoïdes ont été désarticulées en tronçons plus ou moins nombreux, avant la dispersion par les eaux.

Disjonction des couches corticales. — Les différentes cou-

ches de l'écorce sont d'ordinaire disjointes et souvent déposées loin les unes des autres.

Des écorces de sigillaires, nous n'avons que la couche extérieure sans la couche de liège sous-jacente séparée. Les zones subéreuses des fortes écorces stratifiées des *Lepidodendron* du Culm du Roannais gisent très communément isolées; leur épiderme, portant les cicatrices foliaires est presque toujours détaché. Les couches de *Cordaïfloyos* se levaient fréquemment en grandes plaques qu'on trouve séparément dans la houille.

Il est extrêmement rare de trouver le *Calamites cruciatus* accompagné de son épiderme et encore plus rare de le rencontrer avec du bois attenant à l'intérieur. Un *Syringodendron* de Roche-la-Molière me porterait à croire que nous ne connaissons pas encore la couche superficielle constamment absente de ces écorces énigmatiques. Les épidermes de *Calamophyllites* gisent souvent loin de leurs noyaux calamitoïdes. En examinant avec la plus grande attention la partie souterraine du *Calamites Suckowii*, j'ai constaté récemment à l'extérieur du cylindre fibro-vasculaire un épiderme très mince, membraneux et uni comme celui des plantes d'eau, lequel ne se trouve pas avec les tiges transportées et déposées par les eaux.

*L'*épiderme ou périderme gercé des *Cordaïcladus* est le plus souvent isolé; ce n'est que par une observation très attentive que je suis parvenu à trouver réunis l'écorce portant les cicatrices et l'étui médullaire diaphragmatique des Cordaïtes, mais généralement sans aucune partie du bois intermédiaire. Il y a lieu de s'étonner avec M. Dawson (*) de la conservation si commune de la moelle des *Dadoxylon* sous forme d'*Artisia* isolés, et non moins de trouver séparément les noyaux calamitoïdes ligneux à la surface, des *Calamodendron*.

(*) *Acadian geology*, p. 829.

Epidermes et téguments libres. — Un autre fait à signaler et qui a une grande signification, ce sont les téguments libres qu'on rencontre dans les schistes et la houille, en nombre considérable, dans le nord comme dans le midi de la France. Ces téguments rappellent souvent les hypodermes et péridermes par leur tissu allongé et fibreux.

Ils gisent loin des autres parties et représentent le plus souvent les épidermes très minces d'organes dont nous retrouvons le contenu transformé en houille amorphe.

On trouve en outre beaucoup de cuticules isolées qui sont restées souples.

Conservation des graines. — Les graines n'ont guère conservé que leur enveloppe; celles qui sont charnues ont perdu leur sarcotesta. Le *Pachytesta gigantea* est simplement représenté par sa couche épidermique striée, sans le moindre reste de l'épais endotesta, cependant assez coriace de ces énormes graines, dans l'intérieur de l'empreinte desquelles j'ai trouvé plusieurs fois une membrane flexible qui ne peut être que l'enveloppe du nucelle. Les valves foliacés du *Trigonocarpus schizocarpoïde* sont souvent isolées.

Désorganisation interne des stipes et tiges. — Il n'est pas douteux que le tissu conjonctif de beaucoup de couches disjointes n'ait été détruit.

Les pétioles de fougères sont, on peut le dire, toujours réduits à une mince écorce charbonneuse, comme les racines succulentes des Calamariées et des Filicacées, par suite de la disparition de tout leur contenu.

Les tiges sont si généralement dépourvues de leur structure interne que l'on compte les échantillons ayant permis de les étudier dans toutes leurs parties; les grosses comme les petites ont éprouvé une désorganisation presque complète, par suite de laquelle elles se trouvent réduites à une enveloppe corticale convertie en houille. Tous les observateurs ont été frappés de ce fait constant; d'après M. l'abbé

Boulay, il n'offre pas d'exception dans le nord de la France; puis-je dire que c'est celui qui m'a tout d'abord le plus surpris, avec d'autant plus de raison que les arbres ligneux étaient communs à l'époque de la formation du terrain houiller supérieur de St-Étienne. En le mentionnant (*), M. Gœppert a fait remarquer que cet état des tiges, ainsi rendues creuses par la disparition de tout le dedans, est peu fréquent dans les terrains secondaires et qu'il n'y a peut-être pas un seul cas de tige privée de son bois dans les terrains à lignite, ce qui lui a paru devoir être attribué à ce que, pendant la formation de ces derniers, les arbres appartenaient aux dicotylédonées. Mais dans le terrain houiller les tiges ligneuses, telles que celles de Cordaïtes, sont aussi le plus souvent réduites à leur écorce, tout comme les autres.

Il faut savoir que la plus grande partie des tiges houillères étaient de nature plus succulente qu'aucun des arbres de notre époque et que ce sont précisément ces tiges, pleines de tissus mous, qui se trouvent invariablement à l'état d'écorces converties en houille dans les circonstances ordinaires de gisement, et pour s'expliquer leur désorganisation interne il ne faut pas ignorer que celles de ces tiges connues sous les noms de *Sigillaria* et *Stigmaria* ont souvent conservé, en dépit de la pourriture des tissus environnants, dans leur moule, un mince tube strié en long représentant tout ou partie du système vasculaire. Les axes pierreux des *Psaronius*, eux aussi, sont restés en possession de leurs nombreux faisceaux vasculaires à coupe transversale sinueuse et repliée.

Il est non moins utile d'avertir que les tiges vraiment igneuses, c'est-à-dire pleines de bois jusqu'à l'écorce, telles que les *Dadoxylon*, n'en paraissent le plus souvent avoir été privées que par suite de sa segmentation et de sa dispersion à l'état de fusain.

(*) *Die Gattungen der foss. Pflanzen*, Vorwort.

Segmentation et dispersion du bois à l'état de fusain. — Le bois fossile sec, charbonné, connu des minéralogistes et géologues sous les noms de *fusain* en France, *houille daloïde* en Belgique, *faserkohle* en Allemagne, *mineral-charcoal* ou *mother-coal* en Angleterre, est divisé en fragments généralement petits, parallélipipédiques, plats ou comprimés, à angles émoussés, et dispersés dans la houille si intimement et en telle quantité qu'il a été regardé comme en faisant partie constituante.

Le tissu de *Medullosa* est aussi généralement charbonné que le bois de *Dadoxylon*. Il y a des tiges entières, principalement de *Calamodendron*, dont le bois est conservé à l'état de fusain sous une écorce transformée en houille; dans ce cas, le bois est souvent divisé en fragments plus ou moins déplacés. Un cas remarquable dont je donne le dessin *fig.* 1, Pl. 1, est celui d'une tige de *Cordaïtes*, dont le bois est en fragments déplacés à l'intérieur et dont l'écorce transformée en houille renferme des interstratifications de fusain prêt, lui aussi, à se subdiviser en plaquettes. On trouve souvent de grandes lames isolées de fusain analogue, quadrillées par des fissures de retrait. Dans la Haute-Silésie il y a beaucoup de minces lames de fusain qui doivent être de nature corticale.

Le fusain de *Tubiculites* se trouve en paquets ou même quelquefois en tubicules isolés et dispersés dans la houille : le tissu conjonctif est devenu une matière charbonneuse pulvérulente ; la rectitude des tubicules, plutôt rompus que fléchis, dénonce une nature cassante comme celle de l'enveloppe prosenchymateuse desséchée des faisceaux vasculaires des fougères. Le fusain de *Medullosa* est pulvérulent et ses tubes gommeux sont rigides et très secs. Les fibres du fusain de *Cordaïtes* sont encore flexibles ; ce fusain offre souvent des rides transversales correspondant à des lignes de contraction ; il est parfois très désagrégé.

Il y a d'ailleurs une autre sorte de fusain qui se

rapproche du bois ligniteux, lequel a quelquefois l'aspect du fusain; il est plus terne, bitumineux et passe à la houille; d'un autre côté, des intermédiaires le relient au fusain sec, qui offre également des transitions à la houille; il se trouve aussi sous forme de fragments dispersés, généralement cubiques.

Le fusain est donc un état très multiple de la désagrégation végétale à laquelle n'a échappé qu'une petite partie du bois, à Saint-Étienne du moins, car dans les terrains houillers du Nord on ne rencontre les tissus ligneux que sous forme de fusain.

Bois non charbonné. — Le bois non charbonné forme rarement des tiges complètes ; on ne le trouve dans la houille qu'en tronçons informes. Il est souvent très réduit par la désorganisation et la compression à la fois; c'est ainsi que dans la Loire il se présente sous la forme de noyaux méplats ou de nœuds ligneux sidérifiés très irrégulièrement.

Mutilation et morcellement des écorces. — Les organes des plantes houillères et leurs différentes parties sont non seulement désunis et dispersés, mais encore mutilés et fragmentés.

Les écorces sont partagées en tronçons ou en lambeaux plus ou moins considérables. Les *Sigillaires* sont déchirées suivant les côtes, les *Calamites* sont ouverts suivant les sillons et quelquefois, comme les *Aulacopteris*, lacérés. M. Stur, avant de venir à Saint-Étienne, n'avait pas vu de feuilles de Cordaïtes avec leur extrémité libre complète; dans le terrain houiller du Nord, elles sont souvent déchirées en étroites lanières. Les minces écorces de *Caulopteris* sont très divisées; on en trouve souvent les cicatrices isolées. Le sectionnement est poussé à son dernier degré dans l'*Equisetites fissilis*, toujours partagé en si petits panneaux que je n'en ai pas encore rencontré un seul comprenant tout le pourtour de la tige.

Bien que coriaces les frondes de fougères sont souvent

mises en pièces, tandis qu'aujourd'hui, dans les forêts de terre sèche, on les voit se décomposer sur place sans se fractionner. Les dérivations d'*Aulacopteris* sont ordinairement détachées, les *Cyclopteris* gisent le plus souvent séparés. Les pinnules articulées des feuilles presque composées de *Dictyopteris* et de *Nevropteris* sont ordinairement isolées ; il en est de même des pennes de *Goniopteris unita*.

Bref, tous les organes sont morcelés, et cela d'une manière assez constante pour chacun d'eux.

Le déchirement des parties n'est pas en rappport — et cela est à remarquer — avec la résistance des écorces, puisque celles des Cordaïtes sont, bien que très épaisses, aussi brisées que les autres plus minces ou plus fragiles et, dans certains cas, plus fractionnées même.

Plaques corticales, fragments et grains de houille mélangés. — Dans beaucoup d'endroits, notamment à la Malafolie, au Montcel, au toit de la couche des Littes, au-dessus de la couche de Dombrowa (Pologne russe), etc., on trouve des grains de houille et des plaquettes corticales à côté de fragments et lambeaux d'écorces diverses qui tous paraissent appartenir au même ordre de chose. C'est là un fait ordinaire dans les beaux grès houillers. Dans les roches du puits Saint-Lazare, à Rive-de-Gier, en particulier, il y a beaucoup de grains de houille se liant par toutes sortes d'intermédiaires à des plaquettes arrondies de nature corticale, et à 400 mètres de profondeur au puits du Fay des grès et grattes renferment des grains et fragments de houille arrondis ou anguleux avec des lambeaux d'écorce dont ils sont provenus très certainement. Les grès noirs de Commentry sont en partie notable formés de fragments d'écorces transformés en houille. A Brassac la matière végétale est presque toute sous forme de détritus indéterminables.

Parcelles et particules végétales. — La plupart des grès

fins schisteux sont noircis à la surface des délits ou tachés en dedans par d'innombrables particules végétales avec empreintes avariées ou méconnaissables, du fusain chiffonné et des graines fréquentes, comme l'exprime la *fig.* 2, Pl. I. Les parcelles, plus distinctes lorsque l'air a oxydé le bitume entourant, sont ternes et rappellent le caoutchouc minéral ou bitume élastique, mais elles ont souvent un reflet de fusain, et toutes sont des débris de plantes qui, bien que tombées parfois en bouillie, sont encore organisées.

En devenant plus fin, plus foncé, plus ardoisier, le grès schisteux passe à du schiste grèseux, noirâtre, où la matière charbonneuse est répandue uniformément; dans certains grès charbonneux on voit cette matière se subdiviser tellement, qu'on la conçoit capable de noircir les schistes par une désagrégation encore plus avancée de la même substance plus délayée.

Il n'y a point de débris de plantes plus répandus que les parcelles végétales; on en rencontre en quantité dans tous les grès fins, de couleur grise, qui avoisinent les couches de houille; comme certaines houilles en sont formées visiblement, on peut dire qu'une masse considérable des tissus végétaux nous a été conservée dans cet état.

De la Bèche (*) a parlé de charbon détritique sur les plans des grès, dans des termes tels qu'il est facile d'y reconnaître des parcelles végétales très avancées en décomposition ; il en est de même des vestiges charbonneux signalés par M. Lipold (**) dans beaucoup de grès, en Bohême. J'en ai vu considérablement dans les grès de la Haute-Silésie.

Bouillie végétale. — Enfin, une quantité très importante des tissus végétaux a été plus ou moins transformée en une sorte de bouillie qui a contribué largement à former

(*) *Geological Survey*, 1846, vol. I, p. 194.
(**) *Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanstalt*, 1861-62, XII, p. 445-464.

certaines couches de houille. Le grand nombre des organes conservés sous forme de téguments donne une idée de la quantité de gelée végétale qu'on trouve avoir formé la houille en proportion des épidermes qui y sont contenus.

Cette gelée n'a pas toujours été si fluide, si homogène, qu'on n'y distingue encore des vestiges d'organisation, soit au microscope, soit simplement à la loupe.

Nous aurons l'occasion de revenir sur cet état fossile à propos de la houille mate, de la matière charbonneuse des schistes houillers, et du dopplérite.

INDUCTIONS SUR LES CAUSES DE LA DÉSINTÉGRATION ET DE LA DÉCOMPOSITION VÉGÉTALES.

Si l'isolement des organes appendiculaires s'est généralement produit durant la vie des plantes, la désagrégation et la désorganisation n'ont eu lieu qu'après leur mort, par un concours d'influences qu'il s'agit de déterminer par comparaison. Nous connaissons maintenant un terme de la comparaison ; voyons si les données que nous avons sur les phénomènes actuels nous permettent de remonter à ces influences.

La désintégration des végétaux houillers repousse l'intervention des forces dynamiques violentes mises en jeu par les inondations ou les fleuves actuels.

L'état si invariable de mutilation des tiges, leur désorganisation interne, et surtout la désagrégation de la partie ligneuse, sont les effets constants d'actions dissolvantes énergiques.

L'opinion ou plutôt la supposition que les forêts carbonifères ont été ravagées de temps à autre par les inondations de grands cours d'eau n'est pas soutenable, parce

que dans ce cas on devrait rencontrer des arbres ou plantes brusquement arrachés, et conservés autrement que la totalité, on peut dire, des restes fossiles, et l'on ne verrait pas toujours les mêmes plantes dans le même état de fractionnement et de conservation.

Tout atteste, au contraire, que le phénomène de division, de désorganisation, et aussi, verrons-nous, celui de dispersion des débris de plantes, a eu un cours paisible, tranquille et régulier.

Cependant, dans les quartz de Grand'Croix, il y a des inflorescences fossiles qui sont tombées avant d'avoir joué leur rôle, des rameaux non altérés, des feuilles de Cordaïtes fossilisées vivantes parmi d'autres mortes, et ces débris très rares offrent tellement de contraste avec les autres, que je les attribuerais volontiers à des coups de vent comme ceux qui aujourd'hui brisent facilement les pousses tendres des végétaux serrés comme l'étaient ceux de l'époque houillère.

Quoi qu'il en soit, on peut admettre que les végétaux morts étaient décomposés et désagrégés sur place, et n'étaient entraînés par les eaux que ultérieurement et pièce à pièce. Ils ne se présentent pas dans le terrain houiller comme ceux déposés par les cours d'eau dans leur delta, moins encore dans le nord que dans le centre de la France, ce qui élimine une des théories favorites de la formation de la houille aux bouches des fleuves.

La conservation des tiges réduites à leur écorce ne doit pas trop surprendre; mais la désagrégation et la dispersion du bois à l'état de fusain paraît avoir exigé le concours d'influences particulièrement énergiques.

Relativement à la désorganisation interne si constante des tiges, les géologues ont cru trouver une explication

dans ce qui se passe encore de nos jours dans les pays chauds, ou même dans les forêts vierges des régions tempérées, là où, dans les endroits bas et humides, le bois des arbres tombés, tel par exemple que celui des *Betula papyracea* des forêts marécageuses de la Nouvelle-Écosse, se détruit en deux ou trois ans, tandis que l'écorce reste presque intacte, ce qui vient de ce que celle-ci est moins poreuse, plus carburée, et renferme plus de matière terreuse que le bois, dont elle diffère d'ailleurs autant sous le rapport chimique que sous le rapport botanique; la manière dont brûle celle du bouleau dénote une composition favorable à la production de beaucoup de carbures huileux. Mais dans les mêmes circonstances l'écorce du sapin se désagrège avant que s'écaille son bois, qui dure trois à quatre fois plus de temps que celui du bouleau. Partant de l'idée que les tiges du terrain houiller étaient, de même que les arbres auxquels nous sommes habitués, remplis de bois consistant, les géologues auraient pu tout aussi bien demander le secret du phénomène aux expériences de Lindley (*) et de M. Gœppert (**), par lesquelles ces auteurs nous ont appris que, sous l'influence d'une macération de deux à trois ans au plus, l'intérieur des tiges ligneuses, aussi bien que celui des tiges herbacées, disparaît, tandis que l'écorce résiste et demeure entière.

Mais nous avons vu ailleurs que la plupart des tiges du terrain houiller étaient remplis de cellules nourricières très altérables, entourant un bois peu épais formé de larges vaisseaux peu incrustés. Or, comme leur écorce était dense et nettement séparée du tissu sous-jacent, ainsi que dans les fougères, il n'y a alors rien que de très naturel à ce que les tiges houillères soient si ordinairement réduites à leur enveloppe corticale.

(*) *Fossil flora of Great-Britain.*

(**) *Abhandlung der Steinkohlen*, p. 147, et *Lehrbuch der chim. und phys. Geologie*, vol. I, p. 821.

D'un autre côté, le produit de la désagrégation du ligneux n'est pas conforme de tous points aux effets des causes actuelles ci-dessus invoquées.

La segmentation et la dispersion du bois à l'état de fusain est un double fait difficile à expliquer. Comme il y a le plus grand intérêt à en connaître la cause, nous croyons utile de traiter cette question avec quelques détails ici même.

Le fusain ressemble tellement à du charbon de bois, comme apparence et même parfois comme composition chimique (*), qu'il a été pris pour du bois carbonisé par le feu du ciel. Le fait est que le quartz de Grand'Croix en renferme avec fibres à parois opaques non décollées, comme dans le charbon de bois ; mais, tout à côté, on en découvre dont les éléments anatomiques ont perdu la régularité de leur forme, comme ceux du bois qui a été soumis à l'action alternative de la sécheresse et de l'humidité.

Nous verrons, dans l'étude chimique qu'il nous restera à en faire, que le fusain est tout simplement l'état fossile du bois enfoui, qui, ayant été desséché à l'air, n'a pas subi la transformation en houille des autres débris végétaux qui avaient pourri au préalable dans les marécages.

L'état de division du fusain suggère naturellement l'idée d'une désagrégation du bois par l'air alternativement sec et humide, opérant encore aujourd'hui sur les conifères (d'après M. Dawson) une segmentation analogue au moyen de gerçures transversales combiné à un détachement des plaques de bois en longueur. Dans ce cas, l'action d'un climat excessif paraît cependant avoir été nécessaire pour avoir fragmenté indistinctement tous les bois et les avoir amenés à un état de fusain plus desséché que cela ne se voit dans le lignite ; car dans les forêts et les marais actuels, tous les bois ne se fractionnent pas de la même manière.

(*) *Comptes rendus*, 1844, XIX, 126.

Sur le sol des forêts humides de l'Oural le bois de sapin se fragmente et celui de bouleau se réduit en filasse. Il n'y a que le bois dur qui se divise suivant les rayons médullaires et les zones de croissance, tandis qu'à l'époque houillère il en était de même des tissus spongieux de *Medullosa*.

En tout cas, on peut croire que le fusain n'a été tout d'abord que du bois désagrégé à l'air, car si le fusain de *Cordaïtes* a ses rayons médullaires très altérés, presque détruits, et les ponctuations de ses fibres ordinairement ouvertes en forme de larges pores quadrangulaires, pour peu qu'il ait été sidérifié, sa structure est exactement celle des *Dadoxylon*, ce qui prouve que le bois n'avait presque pas encore subi d'altération après sa désagrégation.

Mais le fusain n'est pas le résultat d'un seul mode d'action : il y en a qui, accompagné de détrition, est dû à une pourriture partielle qui, par retrait, opère aussi une division du bois en fragments irréguliers, mous et compressibles. C'est ainsi que dans les fonds humides ou après submersion, le bois s'émiette, et il est probable que telle est l'origine du fusain bitumineux dont nous parlerons plus loin, car il a perdu la netteté des tissus, comme le bois qui a pourri depuis longtemps dans un sol aqueux.

Le fusain peut bien encore, dans certains cas, être un effet de la décomposition terreuse, comme celui du charbon argilo-terreux; mais il ne peut être que rarement dû à la décomposition lente du bois à l'air, car celui-ci, tout en le désagrégeant, l'aurait réduit aux simples membranes blanches et friables des tissus, ce à quoi le fusain, malgré sa compressibilité, est loin d'avoir été ramené à un degré permettant de lui attribuer cette origine pour une partie notable. Cependant il y en a dont les éléments anatomiques sont très désagrégés et très altérés.

En tout cas, il ne résulte pas de la macération, parce que

le bois pourri dans l'eau y devient noir et ne semble plus pouvoir se transformer ensuite en fusain.

Le fusain est-il limité aux terrains anciens, comme l'ont avancé Karsten et Gœppert? Ces auteurs ont écrit qu'il est aussi étranger aux formations secondaires supérieures qu'aux dépôts tertiaires, et qu'il est absent dans le lignite. C'est bien l'état fossile de la plus grande masse du bois de l'époque houillère, mais le jeu des causes qui l'a produit n'a pas cessé à la fin des premières périodes géologiques; j'ai en effet vu du fusain dans presque tous les lignites, où il est souvent très répandu; on a même constaté sa présence dans un lignite quaternaire, où elle a été interprétée comme indiquant l'action de l'homme. Il est seulement à faire remarquer qu'il est généralement plus terne et moins sec dans les combustibles minéraux récents que dans la houille.

On peut donc tout au plus conjecturer qu'à l'époque houillère, des actions très énergiques accéléraient la désagrégation et la dessiccation du bois. L'état fossile des *Tubicaulites* montre en tout cas que ces fougères ligneuses ont été constamment très desséchées. La dessiccation rapide seule des tissus mous de *Medullosa* a pu empêcher leur décomposition.

Il n'y a de bois non charbonné que celui qui paraît avoir été soustrait à l'influence de l'air; il est en effet conservé comme celui des souches de *Cordaïtes* qui sont restées inondées. Aussi montre-t-il avoir éprouvé les effets d'une macération plus ou moins prolongée.

Cependant le bois fossile de la houille n'est pas exempt de parties ayant l'aspect de fusain; mais il n'y a rien que de très naturel à ce que la dessiccation et la macération aient, dans quelques cas, mélangé leurs effets.

La désintégration végétale avait lieu rapidement, pour la plus grande partie à l'air, et était complétée par la macération dans des marécages avant transport.

L'état constant des tiges réduites à l'écorce est pour M. Gœppert une raison de croire qu'elles ont subi longtemps l'action désorganisatrice de l'air. La proportion de fusain indique, pour M. Dawson, la part de l'action de l'air dans la désorganisation des tiges. La plus grande partie du bois fossile n'étant pas en effet conservée, comme celui qui tombe à l'eau, on peut supposer avec beaucoup de vraisemblance que les végétaux se désintégraient sur tige jusqu'à leur chute par vétusté, comme l'indiqueraient les *Dadoxylon* renversés sur place dans les couches houillères. Les faisceaux vasculaires des *Caulopteris* sont en effet préservés d'une manière analogue à ceux des fougères qui se désorganisent à l'air.

A l'air, la désorganisation des tiges devait marcher très vite, activée qu'elle était, comme dans les pays chauds, par l'action combinée de l'air et de l'eau, les deux agents principaux de destruction des matières végétales. Il est probable que, sous le rapport de la rapidité, il en était comme près des rivages de la mer Caribbeau ou dans la Jamaïque, où, au dire de Hawkskaw, Buckland, de la Bèche, Schomburgh, les tiges de dicotylédones perdent leur contenu ligneux dans l'espace de quelques mois.

Cela n'empêche pas que la macération n'ait contribué largement à désorganiser les plantes : elle a pu réduire les arbres à leur écorce comme les souches en place de Sigillaires ; elle seule explique le détachement des cuticules et les téguments libres ; c'est évidemment elle qui a disjoint les couches corticales et désarticulé les tiges noueuses.

La mutilation des frondes de fougère a même exigé une

longue macération ; les *Aulacopteris* sont brisés d'une manière trop nette pour que cela ne se soit pas passé après désorganisation interne et pourriture, car, avant, un très grand effort aurait été nécessaire pour les rompre, et rien n'indique le secours d'une action violente.

On voit très bien que les empreintes fragmentaires étaient détrempées lorsqu'elles ont été amenées dans le lagunes carbonifères. Cela ne fait pas de doute pour le plaques corticales dont nous avons parlé ; une longue macération les a rendues cassantes comme les écorces des arbres au plus profond des marais, et le transport a arrondi les angles des fragments.

Toutefois, comme les feuilles et tiges séparées des Sigillaires, les pennes, pinnules et rachis de plusieurs sortes de fougères, les filandres et écorces d'*Aulacopteris*, gisent souvent à côté ou à proximité, une partie des effets de la macération s'est seulement produite lorsque les débris entraînés flottaient ou jonchaient déjà le sol de dépôt, avant d'être recouverts par le limon.

La détrition et quasi-dissolution des débris végétaux étaient parfois poussées très loin au pied des forêts humides et au fond des marécages avant le transport dans les bassins de dépôt.

Les parcelles et particules végétales, communes et très abondantes, formant une partie importante des débris végétaux, proviennent visiblement de leur désagrégation et pourriture humide avant le transport par les eaux, avec ou sans les fragments d'écorce et grains de houille dont nous venons de parler. On avait induit des empreintes hachées et brouillées près desquelles on en trouve de bien conservées, que les premières ont été charriées de loin. I n'est pas besoin de recourir à cet expédient : les débris

fossiles se sont en partie charbonnés dans les marécages houillers ; ceux dont nous nous occupons, très altérés, n'auraient d'ailleurs pas résisté à un transport de quelque longueur.

Quant à la masse de tissus végétaux quasi dissous, elle ne doit pas surprendre lorsqu'on voit la tourbe des marais où les plantes se décomposent plus rapidement et uniformément que dans les tourbières de montagnes, susceptible de former une boue fluide : sous un climat chaud, la décomposition des végétaux houillers devait être rapide et complète, il devait au moins se former, comme dans les tourbières, de la bouillie végétale (O. Heer), ou plutôt, comme dans les marais de l'Afrique équatoriale, de la vase noire rappelant la poix. Il n'est donc pas besoin de recourir à des plantes cellulaires, qui n'ont pas existé, pour expliquer l'origine de la houille amorphe décrite plus loin.

Évidemment, une partie des tissus a été détruite entièrement par l'action dissolvante de l'atmosphère ou de son jeu alternatif avec l'eau. Mais elle paraît avoir été bien moindre que ne l'a supposé M. Dawson, la station humide des plantes houillères ayant été favorable à la conservation de la matière végétale, au moins pendant quelque temps, avant son transport dans les bassins de dépôt.

Si l'on compare en effet la masse de houille amorphe aux téguments libres, on remarque entre ces parties une proportion qui ne permet pas d'admettre qu'une masse très importante de tissus végétaux aient été détruits. Ils ont été transformés, en grande partie, en une sorte de mucilage ulmique comme la gelée végétale floconneuse fixée dans les quartz de Grand'Croix. Une houille ligniteuse du centre de la Russie, composée de substances amorphes de nature ulmique et de cuticules (*) provenant, à mon

(*) Zeiller, *Bull. Soc. botanique*, 1880, p. 348 : *Bothrodendron punctatum*.

avis, de *Bothrodendron* (*), est une autre preuve que ce mode de décomposition est aussi vieux que le monde organique.

Le phénomène s'est perpétué à travers tous les âges géologiques : les lignites, plus visiblement encore que la houille, sont en effet formés de substances ulmiques avec empreintes, épidermes et cuticules ; tels est le lignite brun de Friedsdorf près Bonn, le lignite fissile jaunâtre de Darmstadt, etc.

Aujourd'hui, la même transformation s'opère sous nos yeux, dans les forêts marécageuses et dans les tourbières.

Ainsi, d'après une communication que je dois à M. Lesquereux, à Kiögge, près de Copenhague, il existe un entassement sur place tout récent d'écorces vides de bouleaux dans une pâte végétale à moitié liquide qui provient de la décomposition du bois dans l'eau (**). Dans les marais aujourd'hui saignés de la Verpillière (Isère), j'ai vu la tourbe formée d'épidermes, jaune-paille ou bruns, et d'une substance noirâtre, boueuse, provenant de la décomposition des tissus cellulaires.

Toujours est-il que la houille amorphe est un produit de la pourriture aqueuse de substances végétales, car à l'air, au lieu d'acide ulmique, elles n'eussent fourni que de l'acide carbonique.

Nous verrons que les produits ulmiques qui ont formé la houille amorphe n'ont pas résulté d'une transformation sur place comme dans les tourbières, mais ont été préparés, en dehors des aires de dépôt, sous forme de substances délayées, dans des marécages qui devaient être très étendus à l'époque houillère, où la décomposition végétale ne paraît pas avoir été activée par des Bactéries ou à une fermen-

(*) Décrits comme *Lepid. tenerrimum*, par Auerbach et Trautschold. *Ueber d. Kohlen von Central Russland.* 1860, p. 39 et 43, Pl. III, *fig.* 1.

(**) Le bois bitumineux se délaye facilement, il fond dans la bouche comme l'argile (Bory-Saint-Vincent).

tation cryptogamique quelconque qui auraient fait se détruire la matière végétale dans l'eau, aussi bien que dans l'air. Ce qui a fait supposer le contraire à M. Van Tieghem(*), le mode de conservation des épidermes et faisceaux vasculaires des racines jeunes dans les quartz de Grand'Croix, se voit dans tous les marais tourbeux.

On ne découvre pas, du reste, dans nos préparations microscopiques, le moindre indice de la présence des *Amylobacter* qui ne doivent pas pouvoir vivre dans des eaux chargées d'acide ulmique, comme l'étaient celles des marais houillers, de même que celles des tourbières actuelles.

Ce que l'on peut conjecturer du milieu où se désagrégeaient les plantes après leur mort, et des influences qui en hâtaient la décomposition.

Voyons si nous pouvons déterminer les influences de milieu qui ont produit la désagrégation et la désorganisation des plantes houillères.

Nous démontrerons plus loin que les forêts carbonifères étaient exclusivement marécageuses et aquatiques.

Rappelons que la plupart des tiges du terrain houiller avaient une texture lâche comme celle des arbres des marais des pays chauds, dont les tissus n'ont souvent pas plus de consistance que la moelle de sureau (Bombax, légumineuses arborescentes), et que les arbres solides étaient au plus haut point médulleux, ce qui est le double cachet d'une végétation non moins rapide que luxuriante ; le grand développement foliaire des *Cordaïtes* à tissu lacuneux entre les nervures, causé par une forte absorption d'eau sous une température élevée, les Névroptéridées à frondaison gigantesque, la prépondérance sur les frondes des stipes,

(*) *Comptes rendus*, 1879, décembre, 1102.

gros comme le bras, des fougères herbacées, très élevées sur hampe, tout témoigne d'une végétation exubérante telle qu'aucune de celles existantes ne paraît donner de sa vigueur qu'une image affaiblie. Les Calamites, dont le cylindre fibro-vasculaire restait compris entre deux épidermes rapprochés très minces, devaient se développer en quelque sorte à vue d'œil. Et par des rhizomes beaucoup de plantes se répandaient avec une rapidité qui tenait du prodige.

Or, on a remarqué que la décrépitude et la mort s'attaquent de bonne heure aux arbres qui grandissent vite dans les marais boisés, sous un haut climat, et qui ont un bois léger comme c'est le cas de la plupart des tiges du terrain houiller, lesquelles ne paraissent pas avoir en effet vécu longtemps, même celles de nature ligneuse, qui sont restées généralement au-dessous de la grosseur moyenne, car dans le cœur de ces arbres, je n'ai jamais vu de ces cavités qui aujourd'hui résultent de la désorganisation interne du bois mort, le premier formé, durant la longue vie des gros arbres.

Cela se passait sous une lumière qui n'était peut-être pas très vive puisqu'elle n'a pas contrarié la grande élongation des tiges droites serrées sans branches, et des stipes, mais elle devait être énergique pour avoir carburé les écorces au point que celles-ci ne se sont presque pas réduites par la conversion en houille, et les avoir rendues si imputrescibles qu'elles ont résisté à l'action désorganisatrice du bois à l'air et des autres tissus dans l'eau.

Il n'y a qu'une forte action lumineuse qui puisse expliquer que des végétaux, comme le *Lepidodendron rhodumnense*, aient pu avoir un tissu lacuneux comme celui des Joncées entre le bois et une écorce extrêmement dense, et que les plantes d'eau aient pu se revêtir de téguments ayant résisté à toute cause de destruction.

Une grande humidité, en arrêtant la transpiration, laissait à la chaleur le pouvoir d'augmenter le développement

des axes et des feuilles, et de restreindre celui des racines ligneuses. La quantité et la grosseur des racines aériennes de Psaronins et de Calamodendron, impliquent un air chaud et saturé de vapeur, car elles seraient mortes dans un air sec.

Les végétaux avaient des organes de végétation probablement moins variés que ceux de reproduction ; des surfaces de feuilles et des traits corticaux analogues dénotent un milieu très influent sur les plantes fossiles, dont les éléments anatomiques sont plus larges et plus longs que d'ordinaire dans les végétaux vivants.

Les parties aériennes paraissent s'être précautionnées contre un climat ardent en se recouvrant d'une écorce vivace épaisse ou compacte, très dense, qui domine souvent la masse du bois. Toutes les branches jeunes étaient armées, si l'on peut dire ainsi, d'une moelle corticale tutélaire. Les racines de fougères, pour une raison certainement physiologique, descendaient sous et dans l'écorce ou glissaient serrées dessus; leurs fructifications si délicates se prémunissaient des ardeurs d'un climat intense par des enveloppes coriaces; les chatons et cônes des cryptogames devenaient ligneux. Les écorces étaient presque toutes pourvues de nombreux tubes gommeux ou de réservoirs d'eau pour résister à la dessiccation sous des coups de soleil brûlant, et étaient presque toujours de nature subéreuse pour se garantir contre l'humidité. L'abondance des tubes gommeux sur les *Doleropteris* est, en effet, due à l'exposition, car leur nombre varie beaucoup; il n'y en a presque pas sur les feuilles qui paraissent avoir séjourné dans l'eau, et ils sont situés au dos des feuilles aériennes du côté éclairé, sans rapport avec les nervures.

Dans de pareilles conditions de milieux : forte lumière, grande chaleur et excessive humidité, et ce qui s'en suivait, au milieu d'immenses marécages où les plantes croissaient et mouraient vite, on comprend la désorganisation végé-

tale, dont nous avons décrit les effets difficiles à expliquer par les phénomènes qui se passent sous nos yeux ; le dessèchement du bois et sa segmentation presque constante sont choses moins énigmatiques.

Les résidus tombant dans le fond marécageux des forêts subissaient rapidement ce que l'on a appelé à tort la fermentation tourbeuse, c'est-à-dire la pourriture aqueuse. Ils étaient ensuite transportés dans les aires de dépôt, ce qui les préservait d'une destruction complète.

SECTION II.

ÉTATS DE GISEMENT DES DÉBRIS DE PLANTES FOSSILES DANS LES ROCHES.

Le gisement dans les roches des débris de plantes fossiles doit maintenant nous arrêter et fixer d'autant plus notre attention que la manière générale dont se trouvent les empreintes, paraît devoir nous fournir la clef de plusieurs difficultés importantes.

Nous examinerons séparément : 1° la manière dont se présentent les empreintes végétales dans les schistes et grès, et 2° la manière dont elles y sont dispersées.

1° MANIÈRE DONT SE PRÉSENTENT LES EMPREINTES DANS LES ROCHES.

Les tiges creuses gisent d'ordinaire aplaties sans déchirure ni duplicature, de manière à se présenter le plus souvent, ce qui a lieu d'étonner, avec un moule plat et quelquefois même sans moule, comme des feuilles, ce qui a fait prendre les *Aulacopteris* pour des *Nœggerathia*. M. Dawson (*) signale constamment les empreintes de tiges

(*) *Acadian geology*, p. 168-178.

comme *flattened*, c'est-à-dire aplaties. Sternberg avait parfaitement remarqué que les impressions arboriformes sont le plus souvent aplaties. Font seulement exception les tiges moyennes à forte écorce, au travers de laquelle le noyau minéral fait souvent hernie, et les minces branches. Il n'y a pour ainsi dire pas de tiges qui soient restées rondes, les moins plates ont été déprimées, toutefois moins dans les grès que dans les schistes.

Voici comme se présentent les différentes sortes d'empreintes :

Les Sigillaires sont parfaitement plates, et, à la conservation égale de leurs côtes et dessins jusque tout à fait aux deux bords, on juge sans hésitation qu'elles ont dû être déposées ainsi : j'en ai vu de $0^m,50$ à $0^m,80$ de large et de 5 à 10 mètres de long, pourvues d'un noyau méplat ayant une épaisseur uniforme de quelques millimètres seulement, ou même dont l'écorce est appliquée intérieurement sur elle-même. Le toit de la couche du Sagnat à Roche-la-Molière en renferme beaucoup, disposées parallèlement et entre lesquelles se trouvent d'autres empreintes planes, comme l'indique le croquis, *fig.* 3, Pl. I.

Les *Lepidodendron* sont dans le même cas. Lorsque, par exception, le moule de ces tiges est ovale, les côtes latérales des Sigillaires sont rabattues les unes sur les autres, les caractères y sont effacés par le glissement ; de plus, les tiges sont souvent ouvertes suivant leur longueur, au moins d'un côté, comme le montre la *fig.* 4, Pl. I. La moindre position oblique des empreintes a fort altéré la régularité des caractères superficiels.

Les écorces de *Calamodendron cruciatum* sont très régulièrement aplaties, avec un noyau mince, tranchant aux deux bords; le moule, costulé uniformément, est parfois réduit à une simple pellicule minérale. Bien que souvent très longues, ces écorces sont droites. Les *Calamodendron* à forte écorce et de petit diamètre, sont peu déprimés et présen-

tent souvent, surtout lorsqu'ils sont remplis de grès, des plis d'écrasement relevés en crêtes, comme l'indique la *fig.* 5, Pl. I.

Les fortes et grandes enveloppes charbonneuses des tiges de Cordaïtes gisent également aplaties, mais moins régulièrement que celles des autres tiges : quelques-unes ont un noyau mince à coupe transversale ondulée; d'autres présentent des replis longitudinaux où le charbon est ramassé. Toutefois, la plupart ont un noyau plat, arrondi un peu au bord; quelques-unes n'ont même, à la place, qu'une légère interposition minérale qui a empêché la paroi intérieure de se souder à elle-même. Dans ces derniers cas, au toit de la Grille, à Roche-la-Molière, elles sont superposées paralèllement, alternant avec de minces lames de schiste, au-dessus de la couche de houille qu'elles terminent. Les grosses branches rameuses sont, au contraire, disposées très irrégulièrement, surtout dans les grès compactes (*fig.* 6, Pl. I) ; leurs ramifications offrent des surfaces ondulées avec des déplacements de matière charbonneuse ; les branches très charbonneuses sont ovalisées et la pression a fait refluer latéralement la houille.

Les feuilles de Cordaïtes sont, dans les schistes, superposées comme les feuillets d'un livre.

Les frondes de fougères, bien couchées à plat dans les joints de stratification des schistes, sont assez mal déposées dans les roches compactes. Les pétioles ou *Aulacopteris*, je l'ai déjà dit, ressemblent à des feuilles, tant ils sont aplatis, au point de ne posséder plus qu'un mince feuillet schisteux en dedans, ou même de former une lamelle de houille sans division médiane; il y en a en quantité au toit de la couche du Peyron, feuilletant les schistes; à cause des branches, toutes les parties ne sont pas régulièrement aplaties dans le gros gore; les embranchements tant soit peu inclinés sur les joints ont donné lieu à des glissements.

Les empreintes ne sont ployées et déposées irrégulière-

ment que dans les roches compactes, amenées en grande masse à la fois et accumulées sans cesse; cela se voit dans le gore compacte aussi bien que dans le grès. Là les tiges sont mal couchées; toutefois elles sont aplaties presque autant que dans les schistes. Dans le gore argileux, les Cordaïtes sont tordus et chiffonnées.

Faits indiquant la compression après dépôt. — Les *Cordaïcladus* qui se sont déposés peu déprimés à cause de leur petit diamètre ont provoqué des glissements tout autour d'eux pendant leur compression.

Des graines primitivement globulaires sont parfois accompagnées de glissements qui simulent de faux péricarpes (*). Ces glissements n'existent pas autour des graines bicarénées plates, non plus que près des tiges qui se sont déposées aplaties ; cela est à remarquer.

Les tiges ligneuses (*fig.* 7, Pl. I), déprimées quelquefois au point de n'avoir plus qu'un mince noyau de bois fossile, par suite évidemment d'une désorganisation avancée des tissus, ont été comprimées après dépôt, car elles sont accompagnées de glissements, indice d'un écoulement latéral de la matière rocheuse.

Mais la part de la compression dans l'aplatissement des tiges creuses, après leur dépôt et enfouissement, est restreinte, et, pour s'en rendre compte, on n'a qu'à interroger les empreintes qui, comme celles renfermées dans les nodules carbonatés, ont eu leur forme fixée aussitôt après le dépôt : ces nodules renferment bien de minces branches rondes et des graines globulaires, mais la plupart des débris fossiles y sont aplatis et ont été déposés ainsi ; les côtes de *Calamites* sont seulement plus prononcées, les coussinets de *Lepidodendron* plus saillants que dans les schistes ordinaires.

Toutefois les vides très déprimés des radicules qui se

(*) *Flore carbonifère du départ. de la Loire*, p. 180.

deviennent dans les lames charbonneuses représentant les *Psaroniocaulon*, indiquent une forte compression de ces écorces après enfouissement.

2° MANIÈRE DONT LES EMPREINTES SE TROUVENT DISSÉMINÉES.

Les dépouilles végétales sont dispersées d'une manière instructive dans l'étendue et l'épaisseur du terrain houiller.

Les parties échappées à la désagrégation à l'air et à la pourriture humide ont été entraînées par les eaux et déposées sans ordre apparent ; tantôt elles sont confusément mélangées, tantôt séparées, et un seul et même organe est souvent accumulé en grand nombre par endroits.

Bien que j'aie parlé ailleurs (*Flore carb.*, p. 563) de la distribution des débris fossiles, j'ai quelques faits nouveaux à signaler et des remarques importantes à faire.

Distribution suivant les roches. — Le gisement dans un joint de séparation argileux, c'est-à-dire dans une dessolarde marquant un temps d'arrêt dans le dépôt, n'appartient pas à la roche ; c'est peut-être pourquoi les schistes feuilletés renferment toutes sortes de débris.

En dehors de ce cas, il semble que chaque roche a ses débris fossiles préférés, mais non sans mélange, ceux du grès n'étant pas généralement ceux des schistes et, parmi les derniers fossiles, ceux du gore n'étant pas tout à fait ceux du mannifer. Les plantes réduites en fragments à peu près égaux, comme l'*Equisetites fissilis*, se trouvent d'ordinaire dans la même nuance de schiste. Les frondes de fougères et les *Asterophyllites* ne gisent peut-être dans tous les schistes que parce que les uns et les autres sont très diversement fragmentés. Les *Odontopteris*, feuilles et pétioles, remplissent le plus souvent des schistes fins, le *Pecopteris polymorpha* le gros gore ou le mannifer. Les Cordaïtes sont de préférence dans les schistes d'une finesse moyenne. Les graines gisent très souvent dans les grès fins schisteux, qui

en contiennent presque toujours parmi les parcelles végétales ; on sait que les grès meulières de Langeac renferment toutes sortes de graines; certains grès de la Haute Silésie en possèdent à ramasser par pelletées.

Il va sans dire que les débris de plantes ne se trouvent pas nécessairement dans leurs roches préférées, ni qu'ils doivent être les mêmes dans les mêmes roches, leur présence dans une strate étant subordonnée à leur transport avec le limon qui l'a formée, et leur chute au fond de l'eau dépendant de leur degré d'imbibition.

Ainsi, dans le grès il y a très souvent du fusain, et cette matière est abondamment répandue dans la houille de dépôt très tranquille. Il est probable que si l'on trouve des parcelles végétales dans les grès fins comme dans la houille, c'est que, détrempées, elles pouvaient se déposer avec le limon grossier. Il y a des graines dans toutes les roches. La présence de ces fossiles dans les grès et les schistes fins s'explique par un degré différent d'imbibition.

Mélanges d'empreintes diverses. — On aurait pensé avec raison que les restes fossiles occupant une même strate sont les parties séparées des mêmes plantes si elles avaient vécu ensemble sur place.

Mais ils appartiennent généralement à des végétaux très différents : les parties de certaines plantes sont associées avec les organes d'autres. Il y a même des restes partageant presque toujours le même gisement, qui appartiennent à des végétaux essentiellement différents, tel est le *Carpolithes subclavatus* qu'on trouve ordinairement avec les *Odontopteris*. Aussi serait-il peu prudent d'attribuer les *Codonospermum* aux *Doleropteris* parce qu'on les trouve souvent ensemble, et de réunir les *Macrostachya infundibuliformis* aux *Asterophyllites densifolius* et *Equisetites fissilis* parce que leurs débris sont pêle-mêle en beaucoup d'endroits.

Triage par les eaux. — Les eaux courantes ont rassem-

blé certains organes à l'exclusion d'autres. C'est ainsi que dans certains schistes on ne trouve que des feuilles de Cordaïtes et dans les grès que leurs grandes écorces.

Les graines sont communément séparées des plantes mères et associées à toutes sortes de débris, ou triées. Ainsi il y a beaucoup de *Carpolithes socialis* avec des fougères au Cros, ou avec des *Asterophyllites viticulosus* au Treuil. Si avec les feuilles de Cordaïtes il y a presque toujours quelques-unes de leurs graines dispersées ou ramassées, cela n'empêche pas que ces organes reproducteurs ne soient souvent isolés; ainsi le puits Saint-Privas a traversé vers 500 mètres un lit de gros gore renfermant beaucoup de *Cardiocarpus emarginatus* sans feuilles, et le puits du Mont vers 230 mètres a recoupé un banc plein de *Cardiocarpus* sans Cordaïtes, agrégés et paraissant avoir été confusément charriées avec le peu de vase sableuse qui leur sert de liant. Le puits Rozand, à 290 mètres, a traversé une dessolarde recouverte exclusivement de *Codonospermum anomalum*.

Plusieurs types de graines sont non moins souvent rassemblés. Ainsi le puits de la Manufacture a rencontré un schiste rempli de plusieurs espèces de *Cardiocarpus*. Au toit de la Serrurière à la Béraudière, dans un joint de stratification, gisent à côté les uns des autres avec des *Aulacopteris*, la plupart des genres de graines créés par Ad. Brongnart, savoir : *Pachytesta gigantea*, *Codonospermum anomalum*, *Trigonocarpus schizocarpoïdes*, *Rhabdocarpus astrocaryoïdes*, *Cardiocarpus reniformis*, *intermedius et oblongus*, *Carpolithes disciformis*, *Polypterocarpus*, etc. Au toit de la 9[e] couche, à Reveux, il y a toutes sortes de graines parmi des organes de plantes peu variées.

INDUCTIONS SUR LES PHÉNOMÈNES D'APPORT ET D'ENFOUISSEMENT DES DÉBRIS VÉGÉTAUX.

Les empreintes couchées dans les roches ont été transportées par les eaux de marécages environnants, ou de forêts humides ou inondées leur faisant suite.

A voir le mode de conservation, de gisement et de distribution des débris de plantes, on doit tenir pour certain qu'ils ont été charriés par les eaux et déposés avec le limon durci où on les trouve à présent.

La forme plate des empreintes suppose un certain flottage. Il y a plus d'un siècle qu'Antoine de Jussieu (*) induisait des empreintes de Saint-Chaumont couchées à plat dans divers sens, qu'elles ont été maintenues sur l'eau ; c'était pour lui une singularité de voir des empreintes superposées, comme elles le seraient si elles avaient été aplaties par la compression ; mais le père de la méthode naturelle s'est trompé en les faisant venir de très loin.

Une autre erreur, de Lindley, causée par l'association des débris de mêmes plantes qu'il croyait avoir vécu près de leurs restes enfouis, vient de ce que cet auteur ne s'est pas rendu compte que la macération a parfois jonché le sol de dépôt des parties détachées d'un même organe transporté par les eaux. La grande quantité de *Lepidostrobus* ou de *Trigonocarpus* trouvés rassemblés par places en Angleterre n'est pas davantage, comme l'a prétendu le Dr. Buckland, une preuve qu'ils sont tombés sur place, car le plus souvent les fruits et graines sont éloignés des autres parties ayant appartenu aux plantes dont ils proviennent, et différents genres de graines ont été rassem-

(*) *Mémoires de l'Académie royale*, 1718, p. 290.

blés, à l'exclusion d'autres débris, par les eaux qui les ont recueillis en passant sous les différentes Gymnospermes houillères qui devaient vivre en société ou tout au moins dans une station analogue. Au reste les roches où il y a des souches de Cordaïtes ne contiennent presque jamais les feuilles de ces végétaux, baignés qu'ils étaient à leur pied par les eaux sédimentaires qui en éparpillaient les débris loin du lieu natal.

Il faut alors admettre que les eaux ont isolé, trié ou rassemblé les débris de plantes fossiles, et les ont classés comme par une sorte de préparation mécanique, en les entraînant dans les bassins de dépôt.

Les parties caduques ou détachées ont dû généralement être recueillies par les eaux recouvrant le sol des forêts humides ou ruisselant sur les terres basses, car les frondes de fougères ne sont pas crispées et les empreintes ne se présentent pas comme si les végétaux se fussent desséchés à l'air ou eussent pourri sur terre sèche avant d'être entraînés ; elles ne sont pas différemment conservées comme si elles provenaient les unes de forêts de terre sèche et les autres de forêts marécageuses. De plus, les mêmes empreintes notamment celles de *Pecopteris*, se rencontrent dans toutes les roches, avec toutes sortes d'espèces marécageuses, et elles sont parfois accumulées en masse comme les débris de plantes sociales. Ils sont rares les restes fossiles que je n'ai trouvés qu'un petit nombre de fois et comme par exception, dans le gore blanc ou la brèche; et encore, on les rencontre avec des empreintes ordinaires. Or, tous les genres de graines se trouvant avec celles-ci, il est donc peu probable qu'elles aient été en partie amenées par des cours d'eau de lieux secs d'où ne nous serait parvenu aucun autre débris tel que feuilles rongées à l'air ou recroquevillées.

Cependant on ne pourrait raisonnablement soutenir qu'il n'y avait pas de végétation de terres en pente, car dans

cette station les plantes n'arrivent qu'en très petit nombre à être fossilisées.

Mais je crois que, à l'époque houillère, la végétation de terre sèche était peu de chose à côté des forêts de terres basses et inondées qui s'étendaient plus ou moins loin en dehors des bassins de dépôt.

Les débris végétaux ont été transportés de près; — délavés et détrempés, ils n'ont pas flotté longtemps avant d'échouer au fond de l'eau avec les sédiments.

De la bonne conservation des empreintes non meurtries à la surface, on a justement conclu qu'elles ne sont pas venues de loin et qu'elles ont été déposées doucement, car les tiges transportées à grande distance par les eaux courantes sont fort dégradées à l'extérieur, celles qui sont ligneuses perdent leur écorce, et les feuilles ne sont pas entraînées intactes longtemps par les fleuves. La netteté et la finesse des dessins corticaux des Sigillaires, prouvent, aux yeux de M. Gœppert, un concours de circonstances où régnait le plus grand calme. De la Bèche a comparé la conservation des empreintes houillères à celle des plantes trouvées dans les lagunes tropicales. Les tiges creuses à mince paroi n'auraient d'ailleurs pas résisté à un transport de quelque longueur dans un cours d'eau rapide ou agité, d'autant moins qu'elles étaient déjà détrempées. L'association fréquente de parties des mêmes plantes, par exemple des Cordaïtes, ou de plantes ayant vécu ensemble, *Asterophyllites*, *Annularia*, *Sphenophyllum*, est un fait non moins probant. Des masses d'empreintes paraissent provenir simplement des bords indécis du bassin de dépôt dans lequel s'avançait la végétation.

On ne voit que les menus débris des grès noirs, qui pourraient faire croire à un long charriage. Mais comme ce

sont des produits de la détrition par voie humide, ils n'auraient pas supporté un transport de quelque étendue sans se réduire en poudre ou en boue.

Arrivées dans le bassin de dépôt, les tiges ligneuses auraient flotté assez longtemps si elles n'avaient macéré auparavant dans les marécages. Les feuilles détrempées s'enfonçaient plus tôt, semble-t-il, que celles apportées aujourd'hui dans les pièces d'eau. Toutefois, la forme rectiligne des tiges creuses dénote qu'elles n'avaient pas encore perdu leur rigidité au moment du dépôt. Un certain séjour à la surface de l'eau paraît avoir été nécessaire pour que les écorces même détrempées aient eu le temps de se disposer à affecter la forme plate qu'elles ont dans les roches.

Les tiges réduites à l'écorce étaient vides, plates ou généralement très affaissées au moment de leur dépôt et envasement.

Il est d'abord bien certain que les tiges se sont déposées une fois devenues creuses, et non, comme l'a prétendu M. Gœppert, avant la pourriture de la masse interne, car leur moule renferme, avec des empreintes plates, le même limon qui forme les roches encaissantes; de plus, dans le cas contraire, le bois, qui se décompose lentement dans l'eau, se serait conservé ou laissé pétrifier souvent en partie plus ou moins importante.

La régularité des moules méplats des tiges indique qu'elles étaient affaissées sur elles-mêmes lors de leur envasement, car, ouvertes, la roche les aurait remplies et le tassement les aurait plissées, ce qui ne se présente qu'exceptionellement. On ne voit pas d'ailleurs de glissements secs à côté des tiges primitivement aplaties comme autour des tiges vides ovalisées par la pression des roches, ou des tiges ligneuses. Au reste, les écorces aplaties qui par la généralité du fait

sont encore pour moi un sujet d'étonnement, entrecroisées parallèlement les unes au-dessus des autres, sans plissement, gisent entre lits de schiste bien stratifié renfermant d'autres empreintes plates (*fig.* 3, Pl. I). Enfin, dans les grès compactes peu compressibles, il y a des tiges presque aussi plates que dans les schistes.

Il n'y a cependant pas de doute qu'après leur dépôt les tiges n'aient subi une forte compression qui a pu réduire les moules de schiste à la moitié de leur épaisseur primitive. Mais, échouées au fond de l'eau, les tiges ne devaient offrir à la facile introduction mécanique des sédiments vaseux ou sableux qu'un vide peu supérieur à celui qu'occupe leur moule actuel, parce que les sédiments pénétraient si aisément dans les creux où ils avaient le moindre accès que les radicules de *Psaronius* de même que les racines de *Calamodendron* sont très souvent remplies très complètement de la roche qui occupe l'intérieur de la tige, et que le grès meulière de Langeac a usurpé la place de l'amande de beaucoup de graines ne présentant pas d'ouverture apparente. Si les tiges ne se fussent pas déposées très affaissées, nul doute, d'après cela, qu'elles ne fussent pourvues de moules importants et irréguliers.

Il est cependant à remarquer que, lorsque les tiges se sont déposées dans des eaux vaseuses, elles ne sont généralement pas aussi aplaties que quand elles se sont déposées entre deux couches de limon; ce qui tendrait à prouver que l'aplatissement se complétait lorsque déposées, étant ramollies et affaissées, elles pesaient sur elles-mêmes au fond de l'eau entre deux apports de sédiments.

Mais je crois qu'on peut tenir comme établi qu'avant, ou pendant, ou immédiatement après leur dépôt, les écorces se sont affaissées et aplaties d'elles-mêmes après ramollissement, soit sous leur propre poids pendant et après le flottage, soit dans les eaux courantes par une différence de pression de l'intérieur à l'extérieur. Elles se sont déposées aplaties

et ne doivent pas de l'être à la compression des roches après remplissage, comme le veut M. Gœppert (tout en admettant que pour les tiges sans noyau minéral elle a eu lieu après pourriture de l'intérieur des débris déjà ensablés), car elles le sont également et presque aussi bien lorsqu'elles sont enchâssées dans les roches compactes, de dépôt rapide et continu, en partie chimique, que posées dans les joints de stratification des schistes que n'ondule pas d'ailleurs la présence des tiges plates du plus grand diamètre.

La forme plate des débris végétaux et la légèreté des substances ulmiques ont été également favorables à leur dépôt uniforme sur de grandes étendues.

On sait que la forme plate est le plus grand obstacle à la chute des corps dans l'eau. Or, les écorces vides affectaient cette forme particulière, ce qui avec l'état détrempé et divisé d'une grande masse de débris végétaux a été favorable à une sédimentation plus régulière que celle de n'importe quelle roche, d'épaisseur et de texture très variables à côté de certains lits charbonneux étendus, à l'égard desquels il n'est plus besoin de faire intervenir ni le tourbage ni les *Fucus* pour en expliquer l'épaisseur régulière. Le dépôt constant, sur de grandes surfaces, des écorces creuses et plates comme les feuilles, est un fait qui seul pourrait expliquer la formation de minces veines de houille très suivies. On va voir que la houille est mieux stratifiée que les roches en général, et l'on remarquera que dans les couches les moindres lits de houille se poursuivent très loin. M. Jukes Beete aussi a observé que la matière charbonneuse est plus uniformément déposée que tout autre limon, même que l'argile; car, en cas de division, les parties constituantes des couches conservent leurs caractères,

tandis que leurs entre-deux varient toujours plus ou moins.

J'ajouterai encore, avant d'aborder l'étude de la houille, que les substances ulmiques entraînées devaient se stratifier parfaitement au fond d'une eau tranquille comme en témoigne la houille fissile, car elles étaient très probablement sous la forme de matière grenue et floconneuse qu'attiraient les bassins de dépôt en même temps que les feuilles et écorces, par un mouvement d'enfoncement que nous expliquerons ailleurs.

SECTION III

STRUCTURE DE LA HOUILLE. — ARRANGEMENT DES DÉBRIS VÉGÉTAUX. — COMPOSITION ORGANIQUE.

Dans ce chapitre seront examinés la structure mécanique de la houille et la composition, l'arrangement et la nature de ses parties constituantes, sans égard aux circonstances de gisement, qui feront l'objet d'un chapitre spécial dans un autre mémoire; comme toujours, l'exposé des faits en question sera suivi des conséquences qu'on en peut logiquement tirer.

STRUCTURE MÉCANIQUE DE LA HOUILLE.

La houille du bassin du Nord, comme celle et même mieux que celle du centre de la France, est visiblement composée de lames et lamelles plus ou moins lustrées, parallèlement disposées comme les feuillets d'un livre, donnant ainsi à la masse une structure lamellaire parfaite. On a toujours dit, parce que c'est frappant, que la houille a une structure schistoïde, qu'elle est formée de lits très minces parallèles, en un mot, stratifiée. Suivant M. Burat, toutes les variétés de houille et d'anthracite sont rayées

et plateuses dans le sens de la stratification. Or, souvent on peut lire, feuillet par feuillet, les écorces aplaties et les feuilles qui produisent cette structure par leur superposition régulière. Le fusain qui y est réparti, comme l'a bien observé Karsten, suivant un parallélisme parfait, marque par les plans de dispersion qu'il accuse ou les sillons qu'il forme, la stratification des houilles homogènes lorsque rien autre ne l'indique; c'est ainsi que le charbon plateux des deux couches exploitées à Gonolog (Pologne russe) est finement stratifié en lamelles plus ou moins subdivisées par des particules de fusain. La houille compacte, examinée attentivement, apparaît stratifiée, souvent même mieux que la houille ordinaire, par une structure fissile de schistes bitumineux.

COMPOSITION ORGANIQUE DES HOUILLES.

Au point de vue qui nous occupe ici, les houilles se rattachent à deux types que nous allons décrire séparément sous le rapport de la composition organique, savoir la houille normale, la plus répandue, et la houille amorphe.

Houille normale.

Cette houille est formée de lames et lamelles claires, plus ou moins évidentes sur la tranche, grâce à leur alternance avec des filets plus ternes; les premières représentent des feuilles ou écorces plates organisées et les dernières une matière charbonneuse amorphe plus ou moins terne qui leur sert de liant. La houille normale est plus terne lorsque la partie amorphe domine et plus brillante lorsque ce sont les empreintes. Sur la tranche des houilles les plus pures, les écorces ressortent sous formes de lames plus claires sur un fond moins clair. La houille de la grande couche de Rive-de-Gier est composée par parties égales de lames et

lamelles claires séparés par des sillons plus ou moins ternes, Dans les schistes les plus charbonneux ces derniers qui dominent sont seulement plus terreux.

La houille n'est ainsi presque jamais formée exclusivement d'écorces et feuilles, et sous ce rapport je dois rectifier mes précédentes assertions (*Flore carb.*, p. 343, et *Congrès scientifique du Havre*, 1877, p. 517).

Houilles intermédiaires.

Entre la houille normale et la houille compacte il y a des intermédiaires tels que la houille à téguments et la houille de parcelles et bouillie végétales, ou de terreau remanié.

La *houille à téguments* est comme formée de charbon amorphe stratifié par des épidermes aplatis, la partie amorphe paraissant provenir de la décomposition avant transport de l'intérieur des organes dont il ne reste plus d'apparent que lesdits épidermes. Cette houille, qui est commune, paraît s'être formée avec une grande lenteur. Nous devons en décrire quelques exemples (*).

La *houille à parcelles et bouillie végétale* est encore plus

(*) Dans beaucoup de houilles, par exemple celles des Rochettes et de la 7e couche, on voit nombre de téguments plus ou moins rapprochés et parallèlement disposés parmi lesquels tranchent quelques écorces. Une veine perdue au mur de la couche des Littes et une partie de la houille de la couche de Trois-Gores sont remplis d'un nombre infini de rubans plats représentant des radicules libres de *Psaronius giganteus*, qui strient finement la tranche, rayée en outre de *Psaroniocaulon*, *Calamodendron* et barrée de nerfs bruns pénétrés de détritus fins de *Calamites*, *Asterophyllites*, *Equisetites*, pourris avant transport.

L'anthracite de Montigné (Mayenne) laisse voir des épidermes et membranes dans une masse compacte qu'ils stratifient à la perfection. La nature de ces membranes ne me permet pas de croire que le gisement se trouve dans le terrain dévonien.

Une houille de Collobrière (Var) présente des épidermes dans une masse terne.

abondante. Elle est formée de menus détritus plus ou moins distincts dans la masse charbonneuse, rappelant les parcelles végétales dont nous avons parlé, et noyés dans une pâte charbonneuse plus ou moins organisée ; le tout s'étant déposé par petits lits que séparent souvent des écorces et feuilles. En devenant crues ou schisteuses, quelques planches de houille se montrent nettement formées de la sorte.

Cette houille qui domine en Haute-Silésie, serait de nature à confirmer l'idée de Sternberg, si, avec Boué, il n'avait pas voulu que les lames et lamelles brillantes de la houille eussent toutes la même origine que la partie terne, et provinssent indistinctement de la masse ligneuse des végétaux délayée et réduite par la voie humide à l'état de bouillie.

Je ferai encore remarquer, au sujet de cette houille, qu'elle offre parfois des surfaces de stratification parsemées de mica et de grains de pyrite, comme le schiste charbonneux où les détritus végétaux sont plus ou moins incorporés à la roche ; j'ai même trouvé à Montrambert une veine de charbon perdue dont les divisions sont identiques à celles des grès noirs, si bien qu'au point de vue de la formation de cette veine, il n'y a pas à douter qu'elle n'ait eu lieu sous l'eau. Il y a même des houilles gréseuses (à la Garenne), contrairement à l'assertion de M. Hooker : ce sont des grès noirs à parcelles et bouillie végétales, dans lesquels les substances charbonneuses dominent.

Les deux espèces de houille dont il vient d'être question ne sont pas exclusives l'une de l'autre : on les rencontre combinées ensemble. Elles forment, conjointement avec la houille amorphe, les interlignes ternes de la houille normale, de nombreuses veines dans la houille de la grande couche de Rive-de-Gier, le fond même du charbon de Saint-Hilaire (Allier) que barrent des traits et sillons brillants plus ou moins rapprochés, dus, au moins en

partie, à des écorces parallèlement stratifiées dans la masse.

La note ci-dessous (*) renferme le signalement instructif de quelques houilles à parcelles et bouillie végétales.

Houilles amorphes.

La houille amorphe règne en Haute-Silésie, dans l'Oural, etc. Elle domine souvent la partie organisée de la plupart des houilles.

La houille amorphe, terne, que l'on pourrait croire formée assez différemment des autres, leur est parfois intimement mélangée, et, quoique souvent compacte, elle est stratifiée aussi bien, sinon mieux, qu'elle accuse toujours des traces végétales, d'autant plus visibles que le charbon est plus terreux. Elle résulte d'une précipitation lente, en lits très minces, au fond de l'eau, de substances ulmiques où sont restés distincts quelques détritus végétaux et souvent beaucoup de macrospores. En examinant au microscope la houille terne la plus compacte, on y découvre toujours, à part le fusain, quelques restes de structure végétale. Je ne connais qu'un cas de dépôt de matières charbonneuses si délayées, qu'on pourrait de prime abord douter de son origine organique ; c'est celui d'un charbon terne fissile de la couche des grès noirs de Commentry, ayant des surfaces de stratification analogues à celles des

---

(*) La houille de la 3e couche passe souvent, du moins à Montrambert, à du charbon cru par lequel on voit que la majeure partie de cette houille est formée de menus débris de plantes, tantôt mélangés de fragments et lames corticales, tantôt noyés dans une masse noire homogène.

La houille terne, toute organisée, de la Chapelle-sous-Dun, paraît avoir été formée par un humus tourbeux de forêts humides ; il en est de même d'une houille mate de Vendes (Cantal).

La carouge de Sainte-Foy-l'Argentière est une sorte de terreau remanié à particules fines et points charbonneux.

schistes bitumineux ; toutefois, dans quelques parties de cette houille, on distingue des pellicules épidermiques ; et, pour moi, son origine végétale est aussi certaine que celle des houilles fissiles et des houilles homogènes dont la composition est détaillée dans la note ci-dessous (*).

Le cannel-coal est comme formé d'une dissolution végétale déposée en lits si ténus que sur la tranche la cassure simule parfois une fausse texture de bois qui a trompé Witham; cet auteur a donné (**) deux coupes de cannel-coal du Lancashire, l'une prise sur le plat, floconneuse, et l'autre en travers, fibreuse, qui n'ont, et je l'ai bien reconnu, de ligneux, que l'apparence. Cette espèce de charbon se rattache aux houilles à gaz (***).

Le *Parrot-coal* renfermant des cellules et fibres brunes, est pour M. Gœppert, un produit de houillification incomplète par la voie humide. Le splint-coal renferme beaucoup de macrospores; il en est de même de la carruche ou houille amorphe, mélangée de schiste de Rive-de-Gièr, formée d'une boue noire avec particules végétales (****).

(*) La houille de Brombay (centre de la Russie) est comme formée de boue noire végétale où le microscope découvre des bouts de cellules dénotant une détrition complète.

Les 3e et 4e crues de la Béraudière fournissent une houille fissile à cassure schistoïde, s'effeuillant en lames plus ou moins claires ou ternes. Cette houille est formée d'un limon végétal déposé avec une extrême lenteur.

(**) *The internal structure of fossil vegetables*, p. 50, Pl. IX, *fig.* 4 et 5.

(***) Le cannel-coal de Montrambert passe réellement au charbon à gaz compacte plus ou moins clair, formé de parcelles et bouillie végétales; sur la tranche, de fins pointillés parallèles et de rares traits brillants en dessinent la stratification.

(****) La *carruche* forme des veines, sillons et planches dans la houille grasse de Rive-de-Gier.

Le *chauffour* du Creusot est un gore très carburé, pénétré de poussières et parcelles végétales sans forme discernable.

Houilles rocheuses.

Des houilles mates aux houilles rocheuses il n'y a qu'un pas, ces dernières étant formées des mêmes parties organiques, seulement plus mélangées de matière terreuse. Le boghead d'Écosse, qui a le grain du gore, est formé d'une vase d'étang où ont poussé quelques racines de *Stigmaria.* Le *Black-bass* est une argile si fortement chargée de matières bitumineuses qu'elle approche du cannel-coal.

La houille tendre, argileuse, renferme des grains de bois pourri et des filets charbonneux dans une terre noire. Au nombre des combustibles qui n'ont pas pris de consistance je signalerai encore la *Moorkohle* rappelant le tabac à priser ; cette houille pourrait être née du terreau de forêts non inondées ; dans tous les cas elle n'a pas été cimentée par le dopplérite.

Houilles barrées et nerveuses.

La houille barrée est une alternance de minces lits de houille mate et de houille claire avec des sillons de fusain; à Sarrebruck, elle est composée d'écorce de Sigillaires et de *Lepidodendron* séparées par du terreau végétal renfermant de minces débris foliaires et épidermiques.

Les houilles nerveuses sont entrelardées de veines impures, ternes, schisteuses, formées de menus débris apportés avec une boue végétale limoneuse. C'est ainsi que le raffort de la grande couche de Rive-de-Gier, au Ban, est un charbon plus ou moins pur coupé de veines de carruche lourde et cendreuse et de gore charbonneux (*fig.* 1, Pl. II). Le *tamard* de Bert est une alternance de houille et de cordons de gore charbonneux pointillé finement sur la tranche par des parcelles végétales.

Houille minéralisée. — Blackband. — Kohleneisenstein.

La houille minéralisée par le carbonate de fer est commune et mérite une mention ici.

Elle a une texture schisteuse à bandes rougeâtres et cordons noirâtres alternes. Elle est striée parfois de filets de houille en tel nombre, qu'elle contient jusqu'à 50 p. 100 de matière charbonneuse et bitumineuse. A Decazeville elle est parfaitement stratifiée par des écorces et feuilles, et rubanée par des veines de houille terne. En un endroit de la 3ᵉ brûlante à Montrambert, la matière charbonneuse est fondue à la roche comme si elle s'était précipitée très délayée en même temps que le minerai. Dans la Ruhr le mélange est encore plus intime.

Les lames et lamelles claires de la houille normale représentent très généralement des débris chlorophylliens aplatis et stratifiés.

On s'assure aisément, dans le charbon un peu schisteux surtout, que les lames et lamelles claires nettement délimitées, représentent des feuilles et des écorces aplaties. On ne peut en excepter que quelques veines de charbon ressemblant à du brai, plus ou moins épaisses et continues, comme on en voit dans la 3ᵉ couche à Beaubrun et à la Barallière. A part cela, je ne connais que la houille de Bert pour avoir des lamelles brillantes, mais peu nettes, formées visiblement des mêmes détritus délayés plus purs que ceux de la partie terne.

Suivant M. Gœppert (*), presque toujours, dans le charbon même, on n'aperçoit que des écorces de tiges si aplaties que leur paroi interne est appliquée sur elle-même et ne se trouve disjointe, dans quelques cas, que par l'interpo-

(*) *Abhandlung der Steinkohlen*, p. 68 et 75.

sition d'une mince lame de terre bitumineuse. C'est près de ses joints de stratification que la houille, moins compacte, laisse voir le mieux les empreintes de feuilles et d'écorces qui affleurent en traits brillants sur la tranche. De la Bêche a bien constaté (*) que les *Sigillaria*, *Lepidodendron* et aussi les *Stigmaria* visibles dans la houille sont couchés étendus parallèlement aux plans de lit. Les tiges aplaties et les feuilles superposées s'y croisent dans tous les sens comme les empreintes au toit immédiat des couches de houille (Comparer Pl. I, *fig.* 3 et 8).

On s'est demandé si les empreintes vues dans la houille n'y ont pas été introduites accidentellement et si elles n'entreraient que pour une partie infime dans sa composition. Dans certaines houilles, on peut remarquer au contraire qu'elles forment la masse prépondérante du charbon, ce qu'on voit nettement lorsque cette houille devient un peu schisteuse.

Ainsi, ce sont les écorces et les feuilles qui forment en plus ou moins grande partie la houille normale que déprécient les débris ligneux presque toujours pétrifiés, et il n'y a pas lieu de s'en étonner, un grand nombre de végétaux houillers ayant poussé principalement en écorce.

Les écorces de *Lepidodendron*, de *Sigillaria*, de *Calamites* et *Calamodendron*, simples et régulièrement aplaties, produisent une houille admirablement stratifiée que lamellent aussi bien les *Aulacopteris* que les feuilles des *Cordaïtes*. Sous ce rapport, les houilles des *Lower-coal-measures* du Lancashire sont, de tous les charbons que j'ai observés, ceux qui réalisent le mieux la parfaite stratification par des écorces. La *fig.* 8, Pl. I, représente une pareille houille telle que je l'ai bien analysée physiquement, il y a plus de quinze ans, à la base de la couche de la Grille, à Roche-la-Molière.

Dans les houilles de *Cordaïtes* du centre de la France,

(*) *Memoirs of the geological Survey*, 1846, vol. I, p. 153.

les écorces rameuses, souvent ployées, ondulent la stratification; mais, non plus que les rares troncs ligneux toujours couchés qu'on rencontre dans quelques houilles, ces écorces n'altèrent la stratification générale de la houille; tout à côté, au-dessus et au-dessous, il y a du charbon parfaitement rubané; les écorces, branches et rameaux entremêlés aux feuilles sont superposés ou séparés par de légères interpositions de houille amorphe; au Clos-Marquet, à Saint-Chamond, une houille pareille à fortes lames corticales ondulées, est mélangée de schistes charbonneux pleins des feuilles et de menus détritus végétaux.

Seule, la houille des amas de Bézenet, de Montchanin, de la Taupe (Brassac), du Mouriné au sommet de la butte d'Avaize, de la Barge à Firminy, etc., est assez mal stratifiée; des parties sont contorsionnées par suite d'un tassement irrégulier occasionné par des nœuds de *Psaronius* mais tous les débris végétaux y sont couchés les uns sur les autres parallèlement à la stratification générale qu'accusent des lits et veines entremêlés ou encaissants de charbon feuilleté par des empreintes parallèles.

Les écorces et feuilles se présentent et sont dispersées dans la houille normale comme les empreintes dans les schistes.

Pour moi, comme pour MM. Gœppert et Geinitz, les feuilles et écorces entrant dans la composition de la houille, sont les mêmes que celles des schistes associés.

Je crois de plus qu'ils s'y présentent de la même manière, et qu'ils ont été accumulés par les eaux à peu près dans l'état d'aplatissement où se trouvent les écorces; car si ces dernières se fussent déposées non comprimées, on les verrait, aujourd'hui que le tassement les aurait aplaties, présenter des plis et autres signes de torture, qu'elles n'offrent pas du tout; en outre, les feuilles qui leur sont associées ne donne-

raient pas à l'ensemble cette structure fissile qui caractérise certaines parties de houille aussi bien que les schistes charbonneux.

En effet, au Crêt de Roch, j'ai vu (*fig.* 9, Pl. I) des empreintes ordinaires plus ou moins abondantes dans des schistes noirs arriver à former successivement, mais non simultanément d'un lit à l'autre, des schistes charbonneux, de la houille crue et enfin des veines de bonne houille. A la Terrasse, les empreintes qui forment une couche à la Porchère, sont les unes isolées dans des schistes, les autres agglomérées en veines de houille composées, quelques-unes, visiblement, de l'épaisseur ajoutée d'écorces et feuilles de Cordaïtes et de bois aplati, ces derniers faisant à peine saillie au-dessus ou au-dessous. Les veines de houille (*fig.* 1, Pl. IV) résultent visiblement de la condensation des empreintes répandues à profusion dans les schistes adjacents. Au reste, nous signalerons et décrirons plus loin de nombreux passages de la houille au schiste charbonneux.

D'un autre côté, les différents organes des plantes sont aussi souvent séparés que mélangés dans la houille et peut être même plus que dans les schistes charbonneux déposés, eux au moins, par des eaux courantes; je l'ai bien constaté à Sarrebruck comme à Saint-Étienne. Les feuilles et écorces de *Cordaïtes* sont souvent associées, mais il y a des planches de houille entièrement composées des feuilles seules, et la houille de *Cordaïtes* renferme souvent peu de fusain. Il y a, au contraire, en Haute-Silésie, des planches de houille terne presque exclusivement formées de fusain. Alors que dans les schistes et les schistes charbonneux, les frondes de fougères gisent à côté de leurs stipes, ces frondes ne s'aperçoivent pour ainsi dire, au milieu de la houille, que dans les veines terreuses; il y a même des houilles qui se montrent entièrement formées de *Stipitopteris* et d'*Aulacopteris* sans pinnules discernables; je ne dis pas qu'il n'y en a point, mais je crois pouvoir avancer que le triage par les eaux a

souvent séparé les frondes des Névroptéridées de leurs stipes pendant la formation de beaucoup de houilles, sans doute parce qu'une longue macération les avaient plus complètement dissociées; le fait est que les débris végétaux sont plus menus et délayés dans la houille que dans les roches adjacentes.

Je me suis déjà étendu à un autre endroit (*Fl. carb.*, p. 394-399), sur la composition végétale des houilles. Je pourrais augmenter beaucoup les énumérations d'empreintes que j'y ai découvertes; qu'il me suffise de signaler en renvoi (*), quelques arrangements particuliers d'espèces végétales fossiles dans la houille.

(*) Dans la houille d'Avaize, superposition lame par lame de *Psaroniocaulon*, *Calamodendrofloyos*, d'*Aulacopteris* avec des *Cordaïtes*, *Stipitopteris*, et des graines variées et indifféremment associées à ces débris. Dans la 3ᵉ couche, au puits Robert, feuilles de Cordaïtes avec quelques *Psaroniocaulon*. Dans le charbon des 6ᵉ et 7ᵉ couches à Châtelus, lit d'*Aulacopteris* avec *Psaroniocaulon*, planche de *Calamites cruciatus*, quelques Sigillaires avec grandes écorces de Cordaïtes plates. Le charbon cru de la 6ᵉ, au puits de la Loire où dominent les *Aulacopteris*, contient des *Psaroniocaulon*, *Stipitopteris* et *Psaronius* (*radices*). Dans la 8ᵉ, au puits Jabin, planche de cru formée visiblement d'un mélange de *Stipitopteris* avec quelques *Pecopteris*, *Calamites*, *Cordaïtes* et *Carpolithes disciformis*. La houille de la 8ᵉ, au Cros, stratifiée par des *Aulacopteris*, l'est plutôt à Montaud par des débris de Cordaïtes, disposés comme dans les schistes, uniquement ou avec des *Calamites cruciatus*. *Cistii*, *Psaroniocaulon* et *Cordaifloyos*. Dans la houille de Littes, *Aulacopteris vulgaris* et *discerpta*, *Calamites cruciatus*, *Psaroniocaulon*, *Stipitopteris*. Dans le charbon de la Serrurière, des *Calamites cannæformis* marquent les joints.

Certaines planches de la houille du Peyron se montrent composées exclusivement de Cordaïtes (feuiles) et *Stipitopteris*. Au mur de la couche Siméon, houille schisteuse ne montrant pour ainsi dire que des lambeaux de *Cordaifloyos*. Au Treuil, pareils lambeaux barrent irrégulièrement la houille, d'ailleurs parfaitement stratifiée, de la 8ᵉ couche. La partie inférieure de la couche du Soleil, une partie de la grande couche de la Malafolie, sont formées des organes mélangés ou séparés de Cordaïtes.

Dans le bassin du Nord, la houille, par exemple celle de la veine Rosalie, à Marles, apparaît souvent comme formée par des écorces

La matière végétale formant la houille est la même qui noircit les schistes et les rend plus ou moins charbonneux.

Je crois non seulement, avec M. Gœppert, que la couleur noirâtre des schistes houillers est exclusivement due à des restes de plantes extrêmement ténus, tels que des cellules isolées, des spores, etc., mais encore à de la matière végétale apportée sous forme d'humus, comme en témoignent encore certaines argiles schisteuses noir-jaunâtre. Je connais des terres ligniteuses imprégnées d'humus, qui rendent bien compte de la dissolution et division dans lesquelles ont été mélangées les substances végétales des schistes noirs. Les plus foncés d'entre ceux-ci peuvent provenir de vase de marais, ceux privés de débris végétaux discernables de vase d'étang noircie par une quasi-dissolution de matière végétale. Une eau blonde comme celle sortant des tourbières ou marais a suffi pour donner au limon durci la couleur sombre des schistes gris-brun.

Je crois, avec MM. Dawson et Bischof, que les matières noircissant les schistes ont été transportées mélangées au limon et déposées ensemble dans les aires de dépôt. On ne peut les attribuer à une distillation lente de la houille, bien que ce soit près de cette dernière que gisent le plus souvent les schistes les plus charbonneux, parce que, indépendamment des parcelles et particules végétales qu'ils renferment dans

---

plates diverses empilées régulièrement, sans feuilles interposées. En Westphalie il y a des veines stratifiées par des écorces et sillons nombreux de fusain. A Concordia (Oberhausen), le charbon clair et pur des trois couches L, J, O, a des filets schisteux (plus ou moins remplis d'empreintes plates et couchées de Sigillaires) qui passent au charbon.

La houille de Communay est formée de téguments et de feuilles et écorces de Cordaïtes plus ou moins séparés par des interpositions parallèles de houille amorphe.

toute la masse, ils sont uniformément pénétrés de substances charbonneuses; ils alternent d'ailleurs avec des lits ou veines de roches grises ou blanches, et des barres de schistes jaunes stratifient souvent la houille.

Jusqu'à un certain point, comme origine, les schistes noirs par leurs matières organiques représentent la houille à laquelle on les voit souvent passer; les splint-coal terreux de l'Oural, compactes, à particules végétales très délayées e renfermant beaucoup de macrospores, rejoignent ces deux roches.

La houille amorphe comme origine est l'équivalent des schistes bitumineux.

De même que le boghead, les schistes bitumineux accompagnent souvent la houille à longue flamme et alternent avec les roches houillères. Ils sont non moins souvent en rapport avec les combustibles récents, par exemple à Steyerdorf à côté du stipite, à Sarladais (Dordogne) près d'un lignite wealdien, à Manosque au-dessus d'une série de lignites tertiaires. Je dis qu'ils leur sont équivalents.

En effet, le lignite maigre schisteux de Manosque rappelle physiquement le schiste bitumineux. La houille de Buxières (Allier), à part des filets brillants, a le feuilleté du schiste bitumineux, la matière charbonneuse y est seulement plus concentrée; elle renferme des *Stigmaria* et passe à la houille. Un schiste très bitumineux du toit de la grande couche de Commentry est intermédiaire entre la houille mate de cet endroit et le schiste bitumineux d'Autun; il se rapproche de la houille de Bert qui renferme aussi des écailles de poisson.

Ce n'est donc pas sans raison que Dufrénoy et Elie de Beaumont (*) ont considéré les couches de schiste bitumineux comme représentant des couches de houille. Aux

(*) *Explication de la carte géol. de France*, I, p. 676.

environs d'Autun, ils alternent avec des schistes non bitumineux; les lits constitutifs des couches sont séparés par des colles ou des veines d'argile, tout comme les lits de houille.

J'ai lieu de croire que c'est un dépôt d'argile et d'humus intimement mélangés, et pour cela je m'en rapporte à certains lignites fissiles récents, qui formeraient certainement des schistes bitumineux s'ils subissaient les transformations voulues. Tel est un lignite brun fissile de Bonn, à texture de schiste bitumineux; telle est encore une argile ligniteuse lacustre finement stratifiée de Salzhausen (Hesse); le schiste bitumineux jaune de Menat (Puy-de-Dôme), fissile, contenant des paillettes végétales plus ou moins apparentes, est surtout de nature à le démontrer.

Il n'y a de végétaux en place dans la houille que des rhizomes interstratifiés de Stigmaria.

Les écorces ne se trouvent pas dans la houille disposées comme si les organes des plantes étaient tombés en ruine sur place; et ce que M. Dawson appelle la lamination du charbon n'est pas produit, comme il le veut, par la superposition de générations successives de troncs mous désorganisés, de feuilles tombées, de plantes herbacées et de racines que la plus petite inondation ou même seulement les eaux de pluie auraient répandus en minces couches, parce que dans ce cas la houille serait traversée perpendiculairement ou au moins obliquement à la stratification par des racines et souches diverses.

Nous verrons bientôt, en effet, qu'aucune des racines pivotantes qu'on observe au toit ou au mur de quelques couches, n'a pénétré dans celles-ci, dans le charbon même.

Mais il y a beaucoup de *Stigmaria* aplatis et couchés

dans les couches de charbon; des mises ou très petits lits de houille en paraissent entièrement formées, ou plutôt ne montrent que cette forme végétale dans les nombreux joints de stratification qui sépare la houille amorphe.

Je devais examiner ce fait, principalement dans les terrains houillers dits marins. Voici les observations que j'ai faites récemment en Pologne et en Westphalie.

En Westphalie, à Concordia, la houille stratifiée par des filets nerveux comme celle de Saint-Étienne, présente de minces nerfs où courent des *Stigmaria* pourvus de radicules; dans la couche Zollverein, veines ternes avec *Stigmaria;* dans la couche Hibernia, veines de schistes charbonneux renfermant du fusain et des macrospores, avec *Stigmaria* en place. Il y a des *Stigmaria* dans le charbon pur de Bochum, entre les grandes écorces aplaties de Sigillaires. Dans le charbon de Shamrock, on voit intimement entremêlés écorces, parcelles, fusain et *Stigmaria.*

Dans la Pologne russe, à Dombrowa, une grande couche de 10 à 15 mètres d'épaisseur commence en bas par un banc de boghead charbonneux lourd, dit *Szyber*, qui n'est pas nettement séparé du mur schisteux noir à *Stigmaria;* dans ce banc formé d'une vase végétale noire, apportée par les eaux, ont poussé des *Stigmaria*, d'abord isolés dans la partie inférieure, puis rapprochés et condensés dans des veines de houille plus claire situées au-dessus, de telle manière qu'on pourrait croire toute la couche formée sur place; mais quelque serrés qu'ils soient, à certains horizons, on remarque que ces rhizomes n'ont formé qu'une petite partie du charbon; une masse importante de la couche est composée de matières ligneuses délayées et de boues végétales que stratifient quelques écorces et de nombreux sillons parallèles de fusain; dans la partie supérieure de la couche, le charbon présente en outre une grande quantité de points bruns qui sont des macrospores amenées pêle-mêle avec les substances végétales; au reste dans cette partie il n'y a plus de

Stigmaria. La houille de Kizell, dans l'Oural, renfermant beaucoup de *Stigmaria*, dont quelques-uns ont pris racine dans les sillons les plus terreux, est en partie notable formée d'une pâte charbonneuse contenant beaucoup de paillettes de fusain.

A Sarrebruck, à Rive-de-Gier, les *Stigmaria*, toujours disposés dans le sens de la stratification, ne forment, comme en Westphalie, qu'une fraction infime de la houille, la centième partie tout au plus.

La plupart des *Stigmaria* dans la houille ont dû se déposer aplatis, avec ou sans racines, car ils n'ont pas altéré la stratification ni déterminé de glissements latéraux.

Je présume que la plupart ont flotté et se sont développés à la surface de l'eau avant d'aller s'interstratifier avec les écorces et autres détritus végétaux transportés et tombés au fond de l'eau.

Cela m'amène à parler ici des *Stigmaria*.

Mode de végétation des Stigmaria ; — leur rôle dans la formation houillère.

Ces plantes mystérieuses, si répandues dans le terrain houiller moyen, notamment en Haute-Silésie, où presque toutes les roches en sont tracées, ces plantes dont les débris se trouvent mêlés à toute espèce de roches en Amérique, argiles, schiste, grès et même calcaire, ces plantes qui restent un sujet d'étonnement, méritaient une étude nouvelle, et je crois, avec le docteur Hooker que tant qu'on ne connaîtra pas leurs mœurs à fond, on n'aura pas le dernier mot sur la formation du terrain houiller.

Les récentes études anatomiques de M. Renault (*) nous

(*) *Annales des sciences géol.*, XII, p. 1. — *Etude sur les Stigmaria.*

les montrent comme des rhizomes flottants à structure de plantes aquatiques, donnant ensemble ou séparément des feuilles et racines également sous forme d'appendices tubuleux. M. Lesquereux m'écrit que c'étaient des racines ou tiges d'ordinaire nageantes, leur étui médullaire étant excentré et situé au-dessus de l'axe des tiges déprimées, les feuilles étant attachées au bord et à la partie supérieure.

Cependant l'observation montre bien (*fig.* 1, Pl. III) que ces rhizomes croisés dans tous les sens, à cours irrégulier, et garnis de radicules toujours disposées perpendiculairement aux axes, ont poussé dans la vase où ils se présentent.

Mais il est probable qu'ils n'étaient enracinés qu'à leur extrémité, car leur intérieur, le plus souvent, a été envahi par un limon plus ou moins analogue à celui qui a formé la roche sus-jacente, lequel n'y a pas pénétré en tout cas, comme la terre qui remplit les racines ligneuses vides des arbres de terre sèche. L'examen attentif que j'ai fait récemment de ces fossiles ramifiés et entrelacés, me porte à croire, en dernière analyse, que leur végétation était double, aquatique et vaseuse, en ce sens qu'ils croissaient partie plongés dans l'eau et partie traçants dans la vase au fond de l'eau, ce qui leur a valu sans doute une consistance et une force plus grandes que celles des plantes aquatiques en général. Je crois que ces rhizomes rampaient parfois encore au fond de l'eau, comme les rhizomes spongieux de *Nymphæa*, et qu'ils n'étaient alors attachés au sol que par les radicules inférieures, les autres appendices flottants recevant l'action de la lumière.

J'ai vu, dans la houille, des *Stigmaria* aplatis sans radicelles. Il y en a beaucoup qui n'ont de racines visibles que latéralement. Leurs appendices se trouvent souvent isolés avec les menus détritus qui forment les joints ternes des houilles barrées de Sarrebruck ; ils remplissent certaines veines de charbon à Dombrowa. D'un autre côté, les *Stigmaria* étant

le plus souvent dans la houille à l'état d'une très mince écorce, comme s'ils avaient macéré avant leur chute sur le fond de dépôt, et ceux qui paraissent avoir poussé à Dombrowa dans la vase charbonneuse étant au contraire représentés par une lame épaisse de houille, je suis porté à admettre que ces rhizomes n'ont, dans la houille, généralement pas vécu où on les voit.

Il devient facile de comprendre pourquoi les *Stigmaria* n'avaient pas besoin de tiges : ils se seraient étalés à la surface de l'eau ou auraient flotté dans une eau qui ne devait pas être très profonde, car ils s'enfonçaient dans la vase pendant les dépôts. Ils traçaient le limon de telle manière que la partie flottante, la seule respirante, devait être encore plus développée, ce qui tendrait à établir qu'ils ne prenaient cependant tout leur développement que dans et sous une tranche d'eau assez épaisse; ils auraient de la sorte envahi de temps à autre dans le nord de la France, ou d'une manière presque constante en Haute-Silésie, les bassins de dépôt, d'une façon que nous ne savons à quoi comparer dans le monde vivant; mais ils ne paraissent pas avoir pris souvent fond pendant la formation des couches de houille, soit parce que l'eau était trop profonde, soit plutôt parce qu'ils ne pouvaient pas végéter dans la matière végétale déposée en voie de décomposition.

Ce n'était sans doute que dans les marais avoisinant les aires de dépôt que cette végétation presque aquatique, gonflée de sucs nourriciers, se complétait par l'émission rapide de tiges de Sigillaires vraies.

CONCLUSIONS SUR LE MODE DE FORMATION DE LA HOUILLE.

Connaissant bien maintenant la houille, que divers géologues considèrent comme propre à une époque de la terre, si sa formation était simple comme celle de la tourbe ou du bitume minéral, nous pourrions la définir en quelques

mots. Mais elle est le produit de plusieurs causes, et trop complexe pour qu'on en puisse rétablir l'histoire autrement que par la fixation de points indiscutables servant à jalonner la route qui conduira, nous l'espérons, de proche en proche, à l'expression de la vérité sur ce difficile problème de géologie.

C'est pour me conformer à cette méthode que je vais me contenter pour le moment de tirer les conclusions principales suivantes, qui découlent de l'ensemble des faits relatés ci-dessus.

Toutes les houilles sont entièrement d'origine végétale.

L'idée que la houille est d'origine minérale, ayant encore des partisans convaincus, mérite d'être réfutée.

Une partie importante de la houille et des combustibles fossiles plus récents, est amorphe, et dans certains cas, rappelle le bitume. Ce n'est qu'envers celle-ci que le doute peut persister.

Mais, indépendamment des raisons botaniques que nous avons présentées, la composition chimique de la houille est celle d'un produit végétal; nous le verrons plus loin.

M. Frémy, qui est porté à croire que la houille est formée de bitume, admet que ce bitume est d'origine végétale.

Les partisans de l'origine minérale disent que les empreintes visibles dans la houille ne la forment pas plus que les schistes où elles abondent; ils vont même jusqu'à prétendre que si les empreintes donnent des lamelles de houille, c'est grâce à l'intrusion du bitume dans leurs tissus; ils ne savent pas que, dans les roches, les empreintes sont représentées comme dans la houille.

Nous verrons bien que la matière charbonneuse remplissant ces tissus est de même nature que la houille amorphe; mais celle-ci passe à la houille organisée, et lui est

parfois si connexe qu'elle n'en saurait être séparée comme origine. La houille de la Haute-Silésie laisse apercevoir dans toute la masse des vestiges de tissus qui ne laissent pas de doute sur son origine entièrement végétale.

La houille compacte renferme, à part le fusain, des éléments anatomiques et du suber; les cassures ternes parallèles à la stratification laissent apercevoir au microscope des tissus conservés, seulement très désagrégés. J'ai fait à ce sujet quelques observations concluantes (*).

Par dès procédés divers (**), Lindley et Hutton, d'Eichwald, Dawson, Gœppert, etc., ont découvert que la houille est organisée.

Un seul doute pourrait rester, c'est que, préparée pour l'examen par transparence, la houille dont le tissu est visible à la loupe et à la lentille à réflecteur du micros-

(*) A Avaize et à Chavassieux, le charbon sans forme végétale apparente offre partout des tissus analysables au microscope. Dans les joints de la houille compacte de la Malafolie on découvre des tissus cellulaires à éléments allongés. Les lames spéculaires de la houille sont parfois entièrement organisées, et quand elles ne le paraissent pas on peut presque toujours y surprendre des tissus qui se fondent, en sorte que c'est comme le lignite xyloïde parfait, où les tissus reparaissent dans un bain de potasse ou après distillation : l'absence de structure n'est qu'apparente.

L'anthracite des Alpes, l'anthracite de Viremoulin (Roannais) m'ont offert des vestiges d'organisation anatomique. Il n'y a pas jusqu'au graphite schisteux de l'Oural et au charbon graphiteux de Tobolsk (Sibérie) qui ne m'aient montré au microscope des cellules et des fibres.

(**) Lindley, en préparant pour le microscope des lames de houille spéculaire, l'a trouvée organisée. Hutton y a vu un réseau de cellules allongées à parois en partie résorbées dans la masse bitumineuse ; d'Eichwald, des cellules angulaires. Lindley et Hutton n'ont trouvé du tissu que par places dans le *fine-coal*. Dawson, en traitant par l'acide azotique des lames de houille, y a trouvé le tissu cellulaire et prosenchymateux des écorces de Sigillaires. Enfin, M. Gœppert nous a depuis longtemps appris qu'en brûlant de la houille ou même de l'anthracite compacte et en soumettant au microscope le squelette de cendres obtenu, il y avait distingué la texture des plantes et des traces de parenchyme.

cope Chevalier, ne présente pas la structure maillée caractéristique des tissus ; c'est là une contradiction étrange. Nous verrons plus loin qu'elle n'est qu'apparente, et tourne même au profit de l'idée que toutes les parties de la houille ont même origine et proviennent des tissus différemment décomposés des mêmes végétaux terrestres.

La houille est une roche sédimentaire au même titre que le schiste.

D'après les développements qui précèdent, la houille, parfaitement et finement stratifiée et ne possédant que les caractères des roches de sédiment, doit être tenue pour le produit d'un dépôt sous-aqueux de ses lames et lamelles constituantes parallèles. Cela ne peut faire de doute pour les nombreuses veines de charbon perdues qu'on trouve, même au milieu des terrains stériles, entre grès ou schiste ; or, l'arrangement des parties et leur composition végétale y sont les mêmes que dans les couches de houille pour la formation desquelles il n'y a alors qu'à supposer très prolongée l'action qui a donné naissance aux veines perdues.

La distribution du fusain en sillons dans la houille est un fait constant qui prouve l'action sédimentaire, il n'a pas de rapport avec les débris végétaux sus et sous-jacents, et marque la stratification.

On verra, dans un autre mémoire, que la constitution des couches de houille, leur schistification, qui est un phénomène ordinaire, ou autrement dit leur passage au schiste charbonneux, dont la formation par l'eau comme véhicule n'est pas contestable, l'engrènement des lames et coins de schiste et de houille à l'origine des nerfs, et, mieux que tout cela, la transformation momentanée de certaines planches de charbon compacte en charbon schisteux à empreintes disposées à plat, tout indique surabondamment une formation de transport par l'eau. Elle seule est com-

patible avec la présence, dans certaines couches, de nombreux filets pierreux et avec le mélange fréquent du schiste au charbon.

Les matières végétales des schistes noirs sont celles qui forment la houille; elles y sont mélangées et disposées de la même manière. Il est impossible de séparer comme provenance et comme mode de formation, le splint-coal cendreux exploité par Lioubimoff à Goubakha dans l'Oural, des boghead et schistes très charbonneux du même endroit.

Nous avons décrit des houilles qui portent le signe d'un dépôt analogue à celui du schiste; ces houilles impures sont aussi abondantes que les autres auxquelles elles sont plus ou moins associées. La combustion des houilles cendreuses, qui sont très communes, fait très bien ressortir leur structure de roches sédimentaires.

Entre le cannel-coal et le schiste bitumineux il ne saurait y avoir de différence comme mode d'accumulation. Tous deux sont des dépôts extrêmement lents. Le schiste bitumineux est un fond de lac où se précipitaient, avec l'argile, des substances organiques intimement mélangées, et en outre quelques débris végétaux et des écailles de poissons.

Les parties charbonneuses de la houille minéralisée se sont évidemment déposées sous l'eau pendant que s'y précipitait le carbonate de fer. Or, des couches de houille, à Decazeville, se transforment insensiblement en charbon minéralisé. Dans toutes les couches de houille il y a des veinules minéralisées, par places, sous forme de grandes lentilles plates. Dans le nord de la France le carbonate de fer schisto-bitumineux existe en filets dans les couches de houille. Dans la 3e couche, à Montrambert, des bancs de charbon ferrugineux continuent des bancs de houille. Enfin la houille est souvent toute imprégnée de minerai, et l'on voit que celui-ci ne s'est pas introduit après coup.

La houille parfaitement sédimentée résulte du dépôt lent et tranquille, par les eaux, d'écorces, feuilles et téguments, avec les produits ulmiques demi-liquides de la décomposition végétale.

Rappelons d'abord que la grande masse des substances végétales répandues dans les roches et formant la houille, a été amenée sous forme de débris foliaires et corticaux en quantité de beaucoup supérieure à la masse de bois désagrégé, et sous forme de substances ulmiques, produites par la détrition et la désorganisation des tissus internes au pied des forêts marécageuses; elles ont été empruntés à des marais boisés comme ceux de Kiögge et se sont écoulées, comme l'ont fait certaines tourbes en Écosse, dans le bassin de dépôt qui les attirait par son enfoncement graduel.

Tantôt les écorces et feuilles se déposaient presque seules avec des fragments de bois, tantôt, et le plus ordinairement, c'était avec des parcelles et de la bouillie ou vase, ou terreau végétal, présentant le caractère de fond des marécages tropicaux ou des forêts baignées, dont les eaux emportent avec les débris persistants (qui n'étaient presque à l'époque houillère que les écorces et les feuilles), les boues noires qui se forment au pied des arbres. La houille à téguments est composée d'épidermes membraneux amenés avec la vase résultant d'une désorganisation presque complète de tous les tissus internes et intermédiaires. La houille mate proviendrait presque exclusivement de substances ulmiques, et la houille rocheuse de terres noircies par 30 à 50 p. 100 de matières charbonneuses, comme il s'en forme dans certains marais tourbeux.

M. Jukes Beete (*), qui a très bien observé les couches de houille, dit très exactement que la houille n'a pu se for-

(*) *On the formation of coal*, 1859.

mer que par le dépôt graduel sous l'eau de lits de 1/10 à 1/100 de pouce d'épaisseur de matières charbonneuses, et la précipitation accidentelle d'un peu de limon, après diffusion dans l'eau courante qui aurait classé ces matières par ordre de densité spécifique ; ce dire n'est en défaut qu'en ce qui concerne les lames et lamelles brillantes, lesquelles sont de nature chlorophylliennes.

L'observation de certaines couches de houille porterait à croire que quelques-uns de leurs bancs se sont formés plus rapidement qu'on ne se complaît à le supposer en attribuant à la houille le mode d'accumulation de la tourbe ; nous verrons en effet des planches de houille qui ont dû se former aussi vite que certains nerfs de schiste correspondants. En tout cas, les veines de charbon perdues n'ont pu exiger un temps notable pour leur formation.

C'est que, la houille étant formée par transport, les apports de matières organiques pouvaient, à certain moment, être considérables, ces matières venant d'immenses forêts marécageuses, dont les détritus ont été charriés et déposés dans une aire de dépôt relativement restreinte.

Mais d'autres considérations forcent à croire que la houille s'est généralement accumulée avec une extrême lenteur.

Les parties, en effet, n'y sont si bien stratifiées et les écorces si parfaitement aplaties, que grâce au temps qui a permis une extension égale de la matière végétale flottante et l'affaissement à la fois si constant et si complet des écorces vides. En Haute-Silésie, notamment, la formation des couches a dû exiger un temps considérable.

Le dépôt de la matière charbonneuse a été parfois si lent que celle-ci se tassait au fur et à mesure, si bien qu'après coup la couche a éprouvé une faible réduction d'épaisseur, comme nous le verrons.

La stratification fine et parfaite de la houille fissile et

compacte indique un dépôt si lent qu'elle devait prendre une certaine consistance pendant la formation.

Malgré cela, je crois qu'il faut en rabattre de la durée qu'on a prêtée gratuitement à la formation des couches de houille. Ç'a toujours été une erreur de croire que les lames de houille correspondent à autant d'événements géologiques que les lits des roches rubanées ou lamellaires; l'alternance du charbon amorphe et organisé est un fait concomitant beaucoup plus simple.

La présence des Stigmaria dans la houille indique une formation en eau profonde, contrairement à ce qui a été dit par tout le monde.

A part les *Stigmaria*, il n'y a dans la houille ni souches ni racines en place; nous verrons que celles que l'on aperçoit soit à leur mur, soit à leur toit, soit dans les entre-deux, ne contribuent pas à former le charbon. C'est tout au plus si, comme on le voit à la *fig.* 2, Pl. II, en B, quelques tiges enracinées au mur sont couchées sur la sole et contribuent à former une partie insignifiante de la houille. De tels cas ne se présentent d'ailleurs que près du bord des bassins de dépôt.

Il ne reste donc que la présence des *Stigmaria* qui puisse donner créance à la formation sur place.

Or, ces plantes sont aquatiques et incapables de se soutenir dans l'air. Elles ont vécu flottant dans l'eau au fond de laquelle leurs extrémités allaient tracer les roches, comme la *fig.* 3, Pl. II, a peut-être un peu trop la prétention de le montrer.

Dès lors, leur présence dans la houille prouve que les couches où elles abondent, se sont formées au fond d'une eau tranquille, dans laquelle ces tiges rampaient; après la mort du plus grand nombre, les radicules, avec les détritus internes et les écorces plates, tombaient séparément. En

même temps quelques débris arrivaient des marécages environnants se stratifier avec lesdits rhizomes. Telle est l'explication plausible qu'on peut donner de l'origine de la houille à *Stigmaria.*

Le fait le plus général invoqué en faveur de la formation de la houille comme la tourbe, la présence des *Stigmaria*, prouve au contraire qu'elle s'est faite sous l'eau ; car on ne peut plus soutenir que les schistes tracés par les *Stigmaria* ont formé des terres sèches, et sous ce rapport la houille est même moins une formation aérienne que les schistes, ceux-ci ayant souvent porté des tiges enracinées, du moins dans nos bassins français, tandis qu'il n'y en a point dans la houille.

Il est même très probable que les couches à *Stigmaria* visibles dans la houille en même temps que dans les roches encaissantes et intercalées, se sont formées en eau profonde. Car cette végétation aquatique enracinée ne paraît avoir été si exclusive que parce que les plantes aériennes ne pouvaient pas se développer dans son milieu.

Et ainsi, il y a des raisons de croire que le terrain houiller du Nord et particulièrement celui de la Haute-Silésie, où il n'y a que des *Stigmaria* enracinés dans toutes les roches fines, s'est par cela même, non seulement toujours formé sous l'eau, mais sous une eau plus profonde que celle sous laquelle se sont déposés ceux des bassins du centre de la France, qui renferment beaucoup de troncs enracinés de plantes marécageuses, mais aériennes.

SECTION IV

TRONCS ET SOUCHES EN PLACE. — FORÊTS FOSSILES ET FORÊTS CARBONIFÈRES ; LEUR RAPPORT AVEC LES COUCHES DE HOUILLE. — CIRCONSTANCES TOPOGRAPHIQUES.

J'ai dit ailleurs, qu'il y a beaucoup de troncs et de sou-

ches en place dans la plupart des terrains houillers du centre de la France. Je les ai étudiés au point de vue botanique, il me reste à les examiner avec non moins d'attention au point de vue de la formation de la houille. Cet examen nous fixera sur les stations des plantes et par suite sur les circonstances topographiques à l'époque des houilles. Nous devons au moins rechercher quels sont les rapports des souches avec les couches de houille après ce que nous avons dit du mode d'accumulation de la matière charbonneuse.

Des personnes doutent encore que les troncs debout se soient développés sur place, ce sont les partisans de la formation marine, qui ne peuvent soutenir leur théorie qu'en admettant que les troncs debout ont été transportés et déposés les racines en bas.

Nous allons d'abord repousser cette assertion gratuite, qui suppose chez ses auteurs un défaut d'observation des circonstances de la station des troncs debout et des souches enracinées dans le terrain houiller.

Les troncs debout et les souches enracinées dans le terrain houiller ont poussé où on les trouve.

Pour établir cette proposition, il me devrait suffire de renvoyer à ce que j'ai écrit et figuré sur la végétation souterraine des *Calamites Suckowii*, sur les *Psaronius in loco natali*, sur le pivot enraciné des *Calamodendrea rhizobola* (*fig.* 14 et 15, *Flore carb.*, p. 96 et 296).

Cependant pour qu'il ne reste plus de doute là-dessus, je vais ajouter quelques autres remarques et signaler quelques faits nouveaux.

Je ferai remarquer tout d'abord que les racines sont toujours complètes jusqu'aux dernières et fines extrémités, qu'elles pénètrent la roche ou changent les dépôts ; tandis

que la seule tige que j'ai reconnu avoir été transportée dans la mer tertiaire du Bas-Dauphiné avec un peu de terre retenue par les racines, a celles-ci rompues près du tronc, et l'ensemble de la plante est comme perdu dans la molasse sans liaison avec elle.

La disposition horizontale des radicules extrêmement délicates, vingt-cinq fois plus fortes que celles des *Equisetum* vivants, sortant perpendiculairement des rhizomes compliqués de *Calamites Suckowii*, ne permet absolument pas de supposer qu'elles n'ont pas poussé dans la vase ultérieurement transformée en schiste où on les trouve en grand nombre dans une position naturelle de croissance.

La tige charbonneuse enracinée (*fig.* 4, Pl. II), montre, outre de petites racines rameuses (*a*) qu'elle envoie de tous côtés, de grosses racines (*b*) longues, rayonnantes dans le plan de deux dessolardes; la base de la tige se résout en racines nombreuses très ramifiées. Il est visible que toutes ces racines, y compris le pivot, se sont développées dans la roche où on les trouve.

Je signalerai encore une tige ligneuse remarquable, que la structure du bois rattache au genre *Palæoxylon* : elle présente (A, *fig.* 2, Pl. II) plusieurs étages de grosses racines qu'elle a poussées dans les schistes. A la partie supérieure de l'entre-deux de couche de houille, qu'ont pénétré ces racines ligneuses, existent des tiges ligneuses couchées (A') s'y rattachant.

Il n'y a que les souches de Cordaïtes qui pourraient donner prise à la suposition contraire, parce qu'elles tallaient comme celles des sapins dans les forêts humides.

Mais lorsqu'on les observe attentivement, on voit facilements que les racines inférieures ont percé les sédiments déposés, comme l'indiquent les croquis, *fig.* 5, 6 et 7, Pl. II, démontrant en outre que la tige (*fig.* 7), autour de laquelle change la roche, s'est développée pendant le

dépôt. Personne ne comprendrait que la souche (*fig.* 5) épanouie sur le grès dans lequel elle envoie quelques racines, ne se soit pas développée sur place.

Si l'on a dit que les troncs syringodendroïdes sont dépourvus de racines à la base, c'est, je crois, parce qu'on ne les a pas observés avec assez d'attention.

Enfin, il est évident que les radicelles rameuses qui traversent si souvent les roches dans tous les sens, qu'elles soient traînantes ou plongeantes, il est évident, dis-je, que perçant parfois des empreintes couchées, elles sont dans leur endroit natal, car elles sont pourvues de fibrilles perpendiculaires à leurs extrémités.

I. — FORÊTS FOSSILES.

M'étant étendu à un autre endroit (*Flore carb.*, p. 329) sur les forêts fossiles, j'ai peu d'observations nouvelles à présenter après le résumé suivant de leurs caractères généraux.

Je veux seulement rappeler que dans les forêts fossiles à sol multiple composées principalement de *Calamites*, *Calamodendron* et *Psaronius*, les arbres se développaient successivement à différents niveaux dans un sol mobile sujet à élévation incessante par un apport continuel de sédiments; que les *Calamites* et *Calamodendron* y surgissaient à tout moment, tandis que les *Stigmariopsis*, *Pododendron* et quelques *Psaronius*, avaient besoin d'un arrêt de la sédimentation pour croître et prospérer.

Les racines sont toujours peu développées, comme celles des arbres qui poussent dans un sol minéral sans humus. Les troncs debout ne s'enracinaient pas profondément, sans doute par besoin de se pourvoir d'oxygène au moyen des racines. Beaucoup de souches expalmées n'étaient pas plus enterrées que les racines ligneuses dans les forêts humides de l'équateur. Je dois cependant en excepter quelques

Syringodendron qui paraissent avoir pris souvent leur diamètre dans les bancs qui recouvrent immédiatement leurs racines stigmarioïdes.

Mais, en général, la végétation houillère était en plus grande partie assise sur le sol qu'implantée dedans.

Les forêts fossiles ont vécu exposées aux eaux courantes dans les aires de dépôt qui s'enfonçaient graduellement.

Les forêts devenues fossiles étaient exposées aux eaux courantes, comme l'indiquent les dépôts influencés autour des tiges debout et l'absence de branches, feuilles et graines au pied des arbres.

Lorsque les *Psaronius* et *Calamodendron* sont puissants et rapprochés, le terrain est très irrégulièrement déposé entre eux comme le dessin, *fig.* 2, Pl. III, en offre un bel exemple.

Au Quartier-Gaillard j'ai vu une forêt à deux étages, composée de *Psaronius* et de *Calamodendron* tous penchés dans le même sens, presque dès la base, par un courant d'eau qui devait être assez rapide. Et cependant on remarque que ces arbres végétaient pendant le dépôt sous les eaux courantes.

C'est donc sans motif que M. Gœppert a assimilé les souches en place aux troncs des forêts sous-marines, c'est-à-dire des forêts terrestres submergées aujourd'hui par la mer.

Les végétaux debout ou enracinés dans le terrain houiller étaient d'ailleurs doués pour se développer pendant la sédimentation même, en émettant de nouvelles racines pour pouvoir continuer à vivre après le recouvrement des anciennes. Nous l'avons amplement fait voir en ce qui concerne les *Psaronius* et *Calamodrendron* qui produisaient des racines adventives et adjuvantes comme celles des plantes d'eau. Les souches de *Cordaïtes* elles-mêmes ou de végétaux voisins, ont donné (A, *fig.* 2, Pl. II), à plusieurs

niveaux de fortes racines horizontales rameuses, peut-être au fur et à mesure de l'ensevelissement des plus inférieures, comme y sont aujourd'hui obligés les arbres exposés aux atterrissements, par une haute faculté d'appropriation physiologique dont sont dépourvues les Gymnospermes vivantes.

D'après cela il n'est plus nécessaire, pour expliquer la présence des forêts fossiles dans le terrain houiller, de supposer que le sol a été mis alternativement à sec ou sous l'eau par des mouvements récurrents ou par suite de débordements de fleuves sur les plaines de leur delta recouvertes de végétation une partie de l'année; les plantes s'étaient adaptées aux terrains inondés.

Il est douteux que le sol des forêts fossiles ait émergé, car, comme le dit justement M. Bischof, si ces forêts se fussent développées sur terre ferme, à la surface de certains bancs de schiste, on y découvrirait encore quelquefois des restes de terreau végétal reconnaissable aux branches, feuilles et graines tombées transformées en une sorte d'humus. Or, loin d'en être ainsi, le sol des forêts fossiles est souvent dépourvu de détritus végétaux, et il n'en est aucunement des forêts fossiles comme des forêts vierges où se développent des générations successives de plantes. On n'a cité qu'un *Stigmaria* traversant une tige en place de *Sigillaria*. Moi-même je n'ai rencontré que de minces *Calamites* s'étant développés dans un *Syringodendron*. On ne trouve pas, d'ailleurs, d'empreintes de gerçures dans les argiles schisteuses du terrain houiller.

D'un autre côté la nature des végétaux debout ne permet pas de croire qu'ils vécussent entièrement recouverts par l'eau, comme les plantes véritablement aquatiques, dont la submersion complète et continue fait disparaître tous vaisseaux et fibres. Il n'y a que les sols à radicules qui laisseraient prise à un doute là-dessus.

Il faut alors admettre que le lit de dépôt s'abaissait graduellement, au moins là où nous voyons aujourd'hui des

forêts fossiles superposées. Cette proposition a une grande importance pour expliquer la formation de nos bassins houillers du centre de la France.

Les plantes carbonifères ne sont représentées que par quelques types peu répandus dans les forêts fossiles.

A part les Calamites debout, très répandus par leurs rhizomes dans les couches houillères, toutefois très rares en Bohême d'après ce que m'a dit M. Stur, les *Calamodendron* ne sont généralement représentés que par des tiges moyennes, dont l'enveloppe de houille représente le bois indistinctement converti avec l'écorce. Je n'ai pas encore trouvé de souches d'*Arthropitus*. Les *Psaronius in loco natali* prennent dans leur partie supérieure des formes de *Ptychopteris*, et je n'ai vu qu'une mince tige debout de *Caulopteris*. Les *Aulacopteris* n'ont qu'exceptionnellement pris racine dans les dépôts houillers. Il est vrai qu'il y a beaucoup de souches de Cordaïtes, contrairement à la vraisemblance qui avait fait supposer que, par la densité du bois et la minceur des éléments anatomiques, les *Dadoxylon* avaient dû se développer en terre ferme et sèche.

Mais les Sigillaires vraies n'ont pas encore été rencontrées, il en est de même des *Lepidodendron*, dont je n'ai jamais pu trouver les racines ni les rhizomes.

Bref, si les grands groupes de végétaux ont chacun quelques représentants enracinés dans les roches, le plus grand nombre des genres de plantes ayant formé la houille et encombrant les schistes, vivaient en dehors des aires de dépôt occupées actuellement par les bassins houillers.

Cependant toutes les plantes houillères partageaient la même station.

Nous avons cherché plus haut à induire de la distribution des empreintes qu'elles provenaient de forêts inondées ou marécageuses et qu'il ne devait presque pas y avoir de plantes de terres sèches. Cette proposition demande à être corroborée avant de s'en servir pour esquisser un aperçu de la topographie des contrées carbonifères.

La flore fossile n'étant comparable à aucune de celles qui vivent aujourd'hui, nous ne pouvons tirer de conclusions touchant la station des plantes et la configuration du sol, tandis que de la connaissance de la flore des lignites du Tyrol on a pu avancer que le pays, à l'époque tertiaire, présentait généralement des collines et terres sèches comme aujourd'hui la Nouvelle-Hollande. Pour présumer ce que pouvaient être les circonstances topographiques à l'époque houillère, il faudrait posséder, avec la connaissance complète des plantes fossiles, les lois de dépendance de la structure et *habitus* avec le sol et le milieu ambiant comme avec le climat.

On sait que les cryptogames ne vivent bien que dans les lieux humides, et l'on peut croire que les *Psaronius* se plaisaient dans les bourbiers comme aujourd'hui les fougères en arbres dans les marais intertropicaux. Mais aurait-on jamais cru que les Cycadinées houillères croissaient en terrain humide alors que les vivantes recherchent les stations arides et sableuses ?

Heureusement je puis suppléer à l'insuffisance de l'analogie sous ce rapport par mes observations directes.

Les empreintes couchées dans les roches se rapportant génériquement aux souches en place dans le terrain houiller, il est probable que toutes les plantes houillères vivaient dans des conditions analogues, sur un sol inondé,

ou plutôt sur des plaines marécageuses, d'après les habitudes de leurs alliés chétifs du monde vivant, car sur terre sèche, leurs débris se seraient transformés en terreau et ne nous seraient parvenus qu'exceptionnellement en bon état.

En effet, leur caractère uniforme est celui de tiges droites élancées, très serrées, comme les arbres dans les marais côtiers de Madagascar. Les *Calamodendron*, représentés par d'énormes moules médullaires, poussaient comme des tubes cloisonnés gigantesques de la même manière que les bambous des jungles à Java. Les radicules de $0^m,01$ à $0^m,02$ du *Psaronius giganteus*, réduites à l'épiderme, les racines de $0^m,03$ à $0^m,04$ de *Calamophyllites* à l'état d'un épiderme et d'un tube cannelé à l'intérieur dénotent une végétation aqueuse. Il y a des *Arthropitus* entre le bois et l'écorce desquels le tissu est lacuneux comme celui des plantes d'eau. L'épaisseur des feuilles normales de *Doleropteris* et la grandeur de leurs fibres vasculaires ne se retrouvent que dans les plantes des marais des pays chauds. Les *Codonospermum* étaient munis d'une vessie natatoire pour répandre une espèce aquatique. Il n'y a pas jusqu'aux insectes de Commentry qui ne dénotent, par leur nature et leur grande taille, beaucoup d'eau et de grands marécages sous un climat torride.

On a supposé qu'en dehors des terres de bas rivages, ou de la végétation houillère amie des eaux, propre à la formation de la houille, comme certaines plantes vivantes le sont à la tourbe, il y avait une végétation de collines ou de hauteurs. M. Hooker, remarquant que les conifères ne gisent presque jamais dans l'argile schisteuse, croit qu'elles ne vivaient pas associées aux Sigillaires et autres plantes qui abondent dans les schistes et la houille. M. Dawson, ne trouvant les *Dadoxylon* que dans les grès, en a inféré que c'étaient des arbres de hautes terres, tout en admettant que les *Cordaïtes* (qui n'en sont que les

feuilles d'après mes recherches) vivaient largement dans les marais houillers. M. Geinitz a placé dans des endroits élevés ses *Nœggerathia* qui ne sont que des *Cordaïtes*.

Mais les souches de *Cordaïtes* sont communes dans le terrain houiller supérieur. Il est vrai qu'à côté d'empreintes de plantes de marais ou de rivage, il y a, couchés dans les roches, des débris ligneux à texture très dense de *Calamodendron*, mais nous avons rencontré en place ceux-ci près des autres dans les forêts fossiles.

La végétation houillère est exclusivement aquatique et marécageuse.

La dispersion des débris fossiles dans les roches m'a déjà fait soupçonner que la végétation houillère était exclusivement aquatique dans le sens restreint du mot, conformément aux indications fournies par les caractères botaniques.

Les souches en place indiquent de leur côté qu'elles pouvaient vivre sur terrain inondé et que toutes les plantes partageaient la même station humide.

Il est donc très probable que la végétation houillère qui est aérienne se développait dans des marécages voisins des bassins de dépôt, les *Stigmaria* seuls, presque aquatiques, peu et rarement transportés, ayant pullulé dans les bassins.

Je ferai encore remarquer à ce sujet que les plantes avaient une tendance marquée à se propager par les rhizomes, comme le font les plantes d'eau : sans parler des Calamites, les Sigillaires pouvaient se reproduire par le concours des *Stigmaria*, les *Lepidodendron* par les *Halonia*, d'après les recherches de mon ami M. Renault.

Les *Calamodendron* eux-mêmes, comme les *Bornia*, d'après des observations récentes, me paraissent avoir pu se multiplier par des rhizomes très particuliers (*fig.* 3, Pl. III), rampant dans les joints de stratification, ramifiés et striés

comme les *Aulacopteris*, mais charbonneux et d'aspect ligneux comme les *Calamites cruciatus*, ne présentant cependant que des indices imparfaits d'articulations, mais portant en quelques endroits un peu déviés des insertions de tiges calamitoïdes.

On trouve dans les schistes diverses racines qui paraissent avoir eu le rôle de répandre d'autres végétaux.

Je suis en outre de plus en plus porté à croire que les *Syringodendron* (*) et peut-être même les *Calamites* sont les parties submergées, à organes latents, de tiges dont la partie aérienne seule portait les feuilles. En sorte que les parties à organes latents étant abondamment répandues, on pourrait croire que les végétaux houillers pouvaient croître le pied dans une eau assez profonde.

Tout se réunit donc pour établir que les forêts carbonifères s'étendaient sur de vastes terres plates, marécageuses confinant à des terres sèches peu ou point boisées. La grande humidité atmosphérique seule pouvait permettre aux plantes de s'installer sur quelques points élevés, là où il leur était possible de produire un fond humide.

Les marécages fournissaient abondamment la matière à houille, et les collines nues les détritus minéraux des roches.

Nous verrons dans un autre mémoire comment cette double circonstance a présidé à la formation du terrain houiller.

Mais pour savoir ce qu'il faudra entendre des radicules qui sont si communes et si répandues dans nos terrains houillers, je dois rechercher si elles n'indiquent pas le plus souvent des plantes aquatiques.

Les radicules rameuses comme celles que je représente *fig.* 4, Pl. III, ne se réunissent pas en faisceau comme celles

(*) Les troncs en effet qui ont, suivant toute apparence, poussé dans la roche, ne présentent aucun appendice en regard des marques cicatricielles.

a de la *fig.* 6; elles sont presque uniformément répandues, et traversant le plus souvent des roches qui, au lieu d'avoir pu émerger, paraissent au contraire s'être formées et avoir toujours été maintenues en eau profonde, j'ai lieu de croire qu'elles appartiennent à des plantes réellement aquatiques.

Dans l'Oural où, à part les *Stigmaria*, je n'ai pas pu découvrir une seule souche en place, j'ai, par contre, vu à Lounievka des espèces de quartzites en bancs réguliers, en quelque façon pénétrés, uniformément, de radicules simples indépendantes (*fig.* 5, Pl. III) sur de telles étendues, que je ne puis pas imaginer qu'elles puissent représenter autre chose que des plantes aquatiques entièrement submergées, mais dont il ne m'a pas été possible de découvrir la partie située hors du sol de fixation.

Les forêts fossiles étant incomplètes, clairsemées et discontinues dans les aires de dépôt, ne sont que l'extension affaiblie des forêts carbonifères.

J'ai dit ailleurs que les forêts fossiles ne sont que l'extension clairsemée des forêts carbonifères; beaucoup de genres et d'espèces ne s'y sont pas encore rencontrés; elles ne sont d'ailleurs formées que de quelques individus, si bien qu'en dehors de la forêt fossile de Neunkirchen (près Sarrebruck), on convient qu'il n'y a pas trace de véritables forêts dans les terrains houillers du Nord. Lorsque, chez nous, on peut suivre l'horizon d'une forêt fossile, on voit que celle-ci n'existe que par places.

Il n'y a aucune proportion entre la masse énorme de débris végétaux apportés et déposés avec les sédiments et le nombre infime des troncs debout et des souches en place; à Saint-Etienne, entre les premiers et les derniers, le rapport dépasse 1.000. Dans le culm du Roannais, n'ayant vu que quelques racines implantées dans les schistes de

Guetton et de Viremoulin, force m'est d'admettre que les forêts qui ont formé les couches d'anthracite se déployaient loin de la surface où s'est déposé le terrain. Dans le Nord, à part les *Stigmaria*, il y a peu de troncs debout. En Bohême, d'après ce que m'a dit M. Stur, ils sont infiniment plus rares qu'à Saint-Etienne. Au reste, beaucoup de débris transportés sont plus plantureux que ceux qu'auraient pu donner les arbres dont les souches sont enracinées dans les dépôts houillers, soit que ces souches ne poussassent pas dans des conditions normales, soit que la plupart mourussent jeunes.

On peut donc tenir pour certain que d'immenses forêts compactes occupaient de grandes surfaces adjacentes aux bassins de dépôt et les rives plates marécageuses des cours d'eau tranquilles qui amenaient tous les détritus de la contrée dans les emplacements sujets à dépression où ont pris naissance et se sont formés, comme nous le verrons, les bassins houillers du centre de la France.

On a fait des calculs établissant que pour former une couche de combustible par voie de transport, il aurait fallu des forêts hors de proportion avec l'étendue probable des bassins hydrographiques; ainsi M. Tache a estimé que les débris végétaux, nécessaires à la formation de certaine couche de lignite, n'auraient pu être fournis que par une forêt dont la surface d'occupation aurait été six cents fois plus grande.

Mais à l'époque houillère, où les terres basses étaient très étendues, la matière végétale entrant dans la composition d'une couche n'a pas été fournie en une seule fois, et les calculs intéressants de M. Tache ne prouvent rien.

II. — MODE DE CONSERVATION ET DÉRASEMENT DES SOUCHES ET RACINES EN PLACE.

La plupart des troncs et souches sont vides, même ceux

de *Cordaïtes*, et réduits à l'écorce. Les radicelles de *Psaronius* et les racines de *Calamodendron* sont souvent remplies du limon qui occupe l'axe creux de la tige. Un fait important à faire remarquer ici, c'est la conservation de beaucoup de racines sans tige, les troncs étant généralement rompus et emportés. Les tiges de Cordaïtes sont souvent abattues sur place, et alors elles sont plus ou moins décomposées.

Beaucoup des arbres en place ont été arrêtés dans leur développement. Exemples : 1° *Stigmariopsis* très petits et très jeunes, au mur de la couche du Sagnat ; 2° petites tiges de Cordaïtes avec noyau artisiiforme de 0m,08 à 0m,10 entouré d'une mince écorce et d'une très petite couche de bois, au toit de la 2e couche au Treuil. La plupart des arbres debout ne sont pas devenus vieux.

Un trait constant des forêts fossiles est que les troncs, souches et racines sont coupés net par des joints de stratification prononcés, dits à Saint-Etienne *dessolardes*. La *fig.* 6, Pl. III, représente un des exemples fréquents de forêts fossiles réduites aux extrémités des racines.

Comme le dérasement concerne les souches en place au mur des couches de houille, au plancher desquelles elles s'arrêtent, comme une dessolarde, il y a une grande importance à déterminer la cause de ce fait très général.

Or, peu d'arbres ont été rompus et renversés avant leur mort et leur désorganisation interne, car les troncs sont rares qui n'ont pas été remplis de limon après rupture, et lorsqu'ils en sont privés, on voit que c'est parce que l'accès de leur intérieur a été fermé aux sédiments. Le peu de déformation des troncs vides à mince paroi et leur troncature nette impliquent une ablation sous un faible effort, lorsqu'il ne restait plus que l'écorce de solide ; le limon s'y est ensuite déposé avec des empreintes diverses. Au reste les tiges séparées des troncs enracinés gisent non rarement à proximité des souches, tels sont les *Calamites Suckowii* au Treuil, les *Calamites cannæformis* au Soleil, etc.

On ne remarque aucune trace de destruction violente dans ce qui reste des forêts fossiles; tout annonce au contraire une détrition rapide des arbres morts que rompaient ensuite facilement les cours d'eau ordinaires, car des tiges étaient brisées à côté d'autres qui végétaient encore.

Cependant, de beaucoup d'arbres dont les tiges ont été emportées, il ne reste que les racines. Il semblerait que, celles-ci n'ayant pas empêché le sol d'être enlevé par les eaux, il y ait eu des remaniements qui auraient exigé un grand mouvement d'eau pour faire table rase des forêts fossiles. Mais la plupart des arbres étaient en quelque sorte portés par leurs racines, et la partie de celles-ci située hors du sol était détruite et emportée avec les tiges.

Comme il y a des souches jeunes à côté de vieilles, la végétation a péri par accident, non par une de ces inondations durables qui tuent les arbres de terre sèche, non plus que par les eaux courantes qui font mourir les plantes d'eau tranquille, mais par un phénomène que nous aurions grand avantage à connaître. Les arbres des forêts fossiles étant habitués à vivre leur pied dans l'eau, il est impossible de croire avec M. Dawson que les troncs en place sont les restes de marécages dont les tiges seraient mortes à la suite de l'envahissement par l'eau.

Les arbres occupant les aires de dépôt pourraient bien avoir été arrêtés dans leur croissance par la submersion qui fait périr tous les arbres et n'en laisse que la souche, ou même seulement par une augmentation de la tranche d'eau qui tue les tiges dans les lacs marécageux, les casse souvent au niveau de l'eau et en creuse le tronc qui se remplit de débris organiques. Je crois que telle est la cause de la mort de la plupart des arbres dont les souches nous ont été conservées par l'enfoncement progressif du sol et l'apport des sédiments.

Ce phénomène et celui de dérasement qui lui paraît souvent connexe, ont été répétés un grand nombre de fois pendant la formation du bassin de la Loire.

En tout cas on peut croire que les circonstances qui ont permis à la végétation de prendre pied dans les dépôts houillers, n'étaient pas longtemps persistantes, elles étaient interrompues par des haussements d'eau qui ont fait périr les arbres et des mouvements d'eau qui ont dérasé les forêts fossiles. Nous verrons, dans un autre mémoire, les relations qu'ont eues ces deux phénomènes avec la formation de la houille et des roches.

Souches au mur des couches de houille. — Nous avons assez parlé ailleurs de l'underclay à *Stigmaria*, et plus haut de ces rhizomes dont la signification est toute autre que celle qu'on leur avait donnée. A Saint-Etienne, ils sont rares au mur des couches de houille; avec eux ou sans eux se rencontrent non rarement des *Stigmariopsis* et *Pododendron*. La *fig.* 8, Pl. I, est destinée à monter une forêt fossile à la sole de la couche de la Grille-Nord : des *Stigmaria ficoïdes* courent entre gore et mannifer parallèlement au plancher de la couche dont ils se tiennent à distance de $0^m,30$; ils sont remplis de grès fin, ce qui indique que la partie centrale a été brisée et le dedans des rhizomes dissous, puis envahi par du sable avant le dépôt de la couche de houille; autour des branches principales et auprès de leur point de départ, le schiste est argileux; des *Stigmariopsis æqualis* remplis de grès fin traversent du gore et du mannifer très dur; les racines de Cordaïtes ne se réunissent pas en haut, où elles sont arrêtées par des plaques schisteuses situées immédiatement au-dessous d'un lit de moure où l'on fait le havage de la couche; la sole est d'ailleurs plane et glissante. Les racines en place dans le mur des couches sont parfois séparées de celles-ci par un banc dépourvu de racines; telle est la couche du Sagnat, qui repose souvent sur une fausse sole ou schiste charbonneux argileux (*fig.* 7, Pl. III).

Tous les mineurs savent bien que les couches de houille sont nettement limitées en bas et ne sont pas liées à leur sole; à la jonction est souvent interposée une mise d'argile noire. Aussi aucun tronc debout dans le mur ne s'élève-t-il dans la couche : ils s'arrêtent à la séparation tranchée du mur comme à une dessolarde. J'ai constamment vérifié ce fait, comme les géologues anglais eux-mêmes, qui n'ont cité qu'un seul cas de Sigillaire s'élevant du mur de la couche Albert dans cette couche, au dire de M. Ray (*). En Belgique et dans le Nord de la France, les couches sont souvent séparées du mur de même que du toit, et subdivisées par des schistes argileux, tendres, noirs, charbonneux, luisants et écailleux. M. de la Bèche (**) a constaté, entre le sous-sol à *Stigmaria* et le charbon, une ligne de contact fortement marquée. A ce sujet, je ferai remarquer que les troncs debout ne traversent pas les moindres mises de houille. Je ne connais d'exception à ajouter à celle unique signalée par M. Binney d'une tige de conifère traversant du grès, de l'argile et un lit de houille, qu'un ou deux *Calamodendrea rhizobola* dont la tige et les racines passent au travers d'une mise de houille schisteuse, comme l'indique la *fig.* 1, Pl. IV. Sur les falaises de la Nouvelle-Écosse, Lyell et Logan ont rapporté que les tiges debout ne traversent pas les veines de houille les plus minces.

Souches au toit des couches de houille. — Mais d'après M. Logan, elles paraissent s'être développées sur les lits de houille où, dit M. Gœppert (***), les racines semblent se perdre, ce qui, avec l'absence prétendue de racines au pied des *Syringodendron*, a fait supposer qu'elles ont produit les veines de charbon sur lesquelles elles reposent. On connaît en Stafford-shire une suite d'étages d'arbres debout séparés par des lits de houille, et l'on prétend que leurs racines ont formé ceux-ci par cela même que ces racines reposent dessus.

(*) Binney, *Mem. lit. phil. Society of Manchester*, 1848, VIII, 177.
(**) *Mem. of the geological Survey*, 1846, 151.
(***) *Abhandlung der Steinkohlen*, p. 150.

Cependant M. Brown a suivi des racines de *Stigmaria* descendant jusqu'à la surface du charbon, mais s'étalant au-dessus. De la Bèche parle du même fait en disant que des Sigillaires se sont développées dans un sol argileux immédiatement situé au-dessus de la végétation qui a fourni la houille d'une veine inférieure.

Le fait est, comme l'expriment les *fig.* 2 et 3, Pl. IV, que les racines ne se sont pas enfoncées dans la masse de végétaux en décomposition qui ont formé la houille. Au toit des couches et reposant sur elles, les *Syringodendron* forment des cloches plus ou moins évasées, étalant et épanouissant leurs racines rampant sur le charbon sans jamais y pénétrer (C, *fig.* 2, Pl. II); à bien les observer, on voit à la base les racines s'étendre sur la couche dont elles sont généralement séparées par une croûte de schiste. J'ai examiné avec la plus grande attention un grand nombre de souches au toit de beaucoup de couches de charbon, et j'ai toujours et constamment observé que les racines ne s'y enfoncent pas, même lorsqu'elles touchent la houille. Ainsi au toit de la deuxième couche Malafolie, j'ai vu (*fig.* 2, Pl. IV), à côté d'un *Psaronius* B reposant sur le faux toit, un *Syringodendron* A étalé sur la couche de manière à faire croire que ses racines sont fondues au charbon; mais, remplies de grès fin et déprimées, elles n'en font réellement pas partie. La houille est d'ailleurs parfaitement stratifiée au-dessous, et les empreintes couchées au sommet de la couche n'appartiennent pas aux arbres qui se dressent au-dessus. Les souches en place au-dessus des couches de charbon en sont au reste souvent séparées par un banc de schiste, comme le montre la *fig.* 3, Pl. IV. C'est toujours dans le faux toit qu'elles ont pris racine.

Souches dans les entre-deux des couches de houille. — A part les *Stigmaria* qui ont poussé dans toutes les roches, on n'a constaté nulle part dans aucun pays de souches en place au milieu de la houille même, les rares *Psaronius* que j'y ai vus sont dans la même position que tous les autres

débris de plantes, c'est-à-dire couchés et amenés là par les eaux. Ce n'est que dans les entre-deux marquant dans la formation de la houille une interruption qui a pu durer longtemps, que l'on découvre des souches en place dans l'intérieur des couches de houille elles-mêmes.

Comme exemples, à part les *Stigmaria*, très fréquents en Angleterre dans les barres argileuses de la houille, notamment à Cwm-Garw (Glamorganshire) ; je signalerai, à Saint-Eloy (Puy-de-Dôme), tranchée de Morny, des *Psaronius* dans un gros nerf de la couche, et je représente (*fig.* 4, Pl. IV) la couche Sainte-Lucie, de Communay, parfaitement stratifiée entre un toit et un mur dépourvus de racines, laquelle est coupée par deux nerfs dont l'un, le plus élevé, contient des bulbes de Sigillaires, remplis de terreau charbonneux, des racines de *Syringodendron* et des pinceaux de radicules dérasés par le joint séparatif du nerf avec la planche supérieure de la couche.

Les troncs, souches et racines accompagnent les couches de houille comme les strates de dépôt tranquille et ne sont pas de taille à en avoir pu former une partie appréciable.

Disons d'abord que beaucoup de couches de houille ne sont pas accompagnées de souches en place ; elles reposent tantôt sur du schiste sans racines (grande couche de la Malafolie, couche de 6 mètres de Königshütte (Haute-Silésie), tantôt directement sur le grès (couches d'anthracite du Roannais, 2e couche de la Malafolie à la carrière Layat, etc.)

Les souches portées directement par elles ont évité, avons-nous vu, d'y engager leurs racines, avec un soin qui prouve que les végétaux houillers ne se sont pas développés, comme les herbes de la tourbe, les uns sur les débris des autres, à cause, selon moi, de ce que la matière végétale accumulée en voie de décomposition était désoxydante et par cela même très contraire à la végétation des racines.

Il est bon de savoir à ce sujet que, même dans les tourbières, les arbres ne prennent pas racines dans la tourbe mais plutôt au-dessous d'elle; les arbres qui poussent dessus sont très chétifs.

Nous avons vu d'un autre côté que les couches de houille, indépendantes de la végétation de leur toit, le sont également de celle de leur mur, duquel, en effet, elles sont généralement séparées par un joint argileux, sinon par du schiste charbonneux. D'ailleurs les radicules qu'on y voit souvent appartiennent à des plantes aquatiques.

L'existence de l'underclay à *Stigmaria* à la base de la plupart des lits et couches de houille dans le terrain houiller moyen, est un fait remarquable, et il est assez naturel que les géologues l'aient considéré comme devant avoir quelque rapport intime avec le mode de formation de la houille, et y aient vu une preuve de son accumulation sur place : le bottom-clay, suivant eux, aurait été un sol particulier où poussaient les *Stigmaria* ou racines des Sigillaires dont les troncs formaient les lits de houille supérieurs. Mais, m'écrit M. Lesquereux, cette explication doit être éliminée, par ce seul fait qu'on rencontre des sols argileux à *Stigmaria* de dix à trente pieds d'épaisseur sans trace de Sigillaires.

Aussi de la Bèche s'est-il demandé si les *Stigmaria* ne sont pas seulement les signes précurseurs de la végétation qui a formé la houille, plutôt que les racines des tiges qui entrent dans sa composition. (Voir plus loin, à ce sujet, l'opinion de M. Goldenberg).

Ce que j'ai dit précédemment sur ces plantes peut me dispenser de discuter cette question, qui n'a plus de raison d'être.

Je ferai remarquer que dans le centre de la France les souches en place sont aussi nombreuses dans les roches fines de dépôt tranquille que près des couches de houille.

Leur fréquence près du charbon signifie tout simplement suivant moi qu'une période de calme a été nécessaire à la formation de la houille.

Au reste l'hypothèse de la formation sur place ne résistera pas à l'étude de la constitution des couches, non plus qu'à l'examen stratigraphique du terrain houiller.

Lorsqu'il y a des racines, soit au toit, soit au mur des couches de houille, je dois encore dire que ce n'est qu'en colonie isolées et dans une étendue très limitée. Ainsi, aux mines de Roche-la-Molière (Loire), la couche de la Grille n'a de racines dans son mur qu'au nord du puits Derhins; à 700 mètres de ce puits les *Psaronius* commencent à se montrer au toit; le plafond du banc inférieur de cette couche bifurquée n'a de *Stigmariopsis* qu'au 3e niveau. La répartition des souches est tout autre pour la couche du Sagnat, qui ne repose sur un sol à *Stigmariopsis* qu'au 3e niveau midi du puits du Sagnat, et sur un sol à *Stigmaria* que tout à fait au sud, et ne porte des cloches au toit qu'au nord du même puits. A la couche du Peyron, il n'y a de souches et troncs en place qu'au toit; je n'en ai vu qu'en un seul point au mur. Il n'y en a ni au toit ni au mur de la couche Siméon. J'ai fait ces constatations lorsque j'étais ingénieur aux mines de Roche-la-Molière. A la Béraudière, au mur de la couche des Littes, près du puits Courbon, il n'existe qu'un seul bouquet de Calamites (*fig.* 5, Pl. IV).

Bref, les souches accompagnant les couches de houille sont aussi peu nombreuses que clairsemées, tout comme celles formant les forêts fossiles. Elles ne sauraient donc, en aucun cas, avoir fourni une partie notable des matériaux organiques entrant dans la composition des couches de houille.

Au reste, des bassins et de nombreux systèmes houillers sont dépourvus de racines en place, et les rapports de la houille avec les roches encaissantes forcent d'admettre que c'est un combustible de transport.

L'étude des arbres enracinés révèle des faits curieux

touchant les circonstances topographiques de la formation des bassins houillers, et à ce point de vue les développements qui précèdent sur les forêts carbonifères auraient pu être différés.

Mais les arbres debout jetant un peu de lumière sur diverses questions traitées dans ce mémoire, et fournissant un des principaux arguments présentés par les partisans de la formation sur place, je devais examiner ici-même très minutieusement leur rapport avec les couches de charbon, comme s'ils les accompagnaient partout et toujours.

Cependant il y a des bassins et de nombreux faisceaux houillers qui en sont privés plus ou moins complètement, en sorte que la présence des racines implantées dans le terrain houiller peut être considérée comme une exception plutôt que comme un fait immanent.

Ainsi, à Brassac, je n'ai pu en découvrir une seule à l'intérieur des mines non plus qu'aux affleurements, ni dans le mur des couches de charbon, ni dans les roches. Je crois qu'il en est de même à Ronchamp.

D'un autre côté, à Saint-Chamond (Loire), comme dans beaucoup de faisceaux charbonneux, il n'y a généralement pas de souches ni de racines, voire même des Stigmariées, près des couches de houille.

Il faut donc se résoudre à envisager la formation de la houille indépendamment des arbres debout, qui ne les accompagnent que dans certains cas particuliers, et qui appartiennent d'ailleurs à des végétaux d'eau courante.

Or, tous les caractères relatifs à sa composition organique et à sa structure physique sont unanimes à démontrer que c'est une roche sédimentaire.

Ses rapports avec les terrains encaissants sont non moins explicites, et peut-être même plus concluants dans le centre de la France, où les arbres debout semblent prouver le ontraire ,que dans les terrains houillers moyens du Nord. Ce sont ces rapports qui m'ont convaincu, il y a vingt ans,

de l'opinion qu'aujourd'hui je suis à peine en mesure de discuter scientifiquement, sous toutes ses faces, vis-à-vis de la théorie reçue, savoir que la houille est un combustible de transport. J'ose espérer que les matériaux que j'ai recueillis sur la formation des couches de houille et des bassins houillers achèveront de dissiper les derniers doutes qui pourraient subsister, et que la question de géogénie des houilles bien élucidée, en facilitant l'explication des faits, rendra quelques services au mineur qui n'envisagera plus, en tout cas, les couches de houille comme devant avoir, dans toute l'étendue d'un bassin houiller, une continuité et une régularité qu'elles n'ont jamais eues, et n'ont même pu avoir en tant que dépôts sédimentaires.

On avait bien admis, assez généralement, que le lignite est un combustible de transport, ce qui ressort avec la dernière évidence des faits exposés plus loin. Mais on ne voulait absolument pas qu'il en fût de même de la véritable houille, laquelle présente, pourtant, avec le lignite, beaucoup d'analogie de structure et même de gisement.

C'est tout le contraire qu'il eût mieux mieux valu soutenir, car si des couches de charbon fossile avaient pu naître sur place, ce n'aurait pas été à l'époque houillère, à cause du climat au plus haut point dissolvant qui régnait alors, lequel eût certainement empêché, comme sous l'équateur, tout phénomène analogue au tourbage de produire des accumulations durables de matières végétales, même dans un marais profond.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

MÉMOIRE

SUR

LA FORMATION DE LA HOUILLE

Par M. C. GRAND'EURY.

(Suite et fin.

SECTION V.

EXAMEN COMPARÉ DES STIPITES ET LIGNITES. — PARALLÈLE AVEC LA HOUILLE.

Après ce que nous avons dit sur la houille, il est intéressant d'étudier au même point de vue les autres combustibles minéraux plus récents, les stipites et lignites.

Il y a longtemps que Voigt a écrit que la houille et le *lignite* appartiennent à deux époques essentiellement différentes de l'histoire de la terre. Depuis Alexandre Brongniart, le lignite a été séparé de la houille par tous les géologues.

Sternberg (*) a distingué de la houille proprement dite, de 1re formation, la houille de la marne calcaire, ou de 2e formation, et la houille de l'argile, ou de 3e formation. On a désigné sous le nom de stipite le combustible du keuper, du lias et du jurassique, parce qu'il a paru formé de Cycadinées.

(*) *Essai géognostico-botanique*, 3e cahier, p. 13.

I. — STIPITES OU HOUILLES DE SECONDE FORMATION.

Dans le keuper, le lias et l'oolithe, existent en Hongrie, au Caucase, aux Indes, en Australie, etc., beaucoup de combustibles qui rivalisent parfois de qualité avec la houille.

Stipite de Gouhenans (*Haute-Saône*). — A Gouhenans, au milieu du keuper, existe une couche de stipite composée d'épidermes, de gaînes et de noyaux calamitoïdes d'*Equisetites*; cela est très évident dans le charbon feuilleté; quant à celui qui est compact, si on le brise parallèlement à la stratification, on met presque toujours en évidence de pareilles empreintes, sans la moindre trace de fusain. Tout le charbon est parfaitement et finement stratifié.

Dans la couche, près du toit, se trouve un délit; près du mur est une veine stratifiée de gypse. Dans l'intervalle, le charbon est compact. Immédiatement au-dessus comme au-dessous de la veine de gypse, le charbon est feuilleté; de même contre le délit. Le toit est un schiste tendre traversé de petites racines. Il s'y trouve une ou deux veines de charbon feuilleté par des empreintes. La couche est parfaitement régulière sur plus de 1 kilomètre d'étendue. Elle me paraît s'être formée au milieu d'un grand et long marais profond par l'accumulation lente des débris d'*Equisetites* qui en peuplaient les bords à l'exclusion d'autres plantes.

Voici les autres observations que j'ai pu faire et qui ont été faites sur les stipites au point de vue qui nous occupe pour le moment.

Description de quelques stipites. — Le stipite de la Virginie est composé de *Zamites* et d'*Equisetites*. Abich a signalé dans l'oolithe du charbon composé de cycadées, caractérisant la Jurakohle de M. Geinitz. La houille rhétique de Bayreuth, d'après la grande quantité de *Baiera* contenue dans les schistes avoisinants ou associés, en est probable-

ment formée, avec les écorces et le fusain des tiges qui ont porté ces feuilles alliées aux conifères. Dans le Caucase, à la base du terrain jurassique, le charbon d'une grande couche composée de plusieurs parties de nature très différente, séparées par des schistes, est principalement formé de cycadées, avec conifères, fougères, etc.

Les charbons de la Nouvelle-Galles-du-Sud (Australie), que la plupart des paléobotanistes placent dans l'oolithe, sont, d'après les spécimens que j'ai vus exposés à Paris en 1878, bien stratifiés par des lames plus claires et des traits parallèles plus ternes. Dans les Indes anglaises, d'après les échantillons exposés, il y a beaucoup de fusain dans un charbon analogue à la houille. Un stipite du lias de Transylvanie est stratifié par du fusain moins sec que celui de la houille. A Steyerdorf (Banat), le charbon du lias inférieur, aussi beau qu'aucune houille et employé industriellement comme telle, a une stucture schistoïde bien caractérisée ; des marnes schisteuses contiennent des traits charbonneux, les schistes ressemblent à ceux du terrain houiller, et je crois que les matières organiques remplissant les grès dits bitumineux sont des parcelles végétales. Dans le nord-est des Alpes, à Gresten, les couches fournissent un charbon schisteux impur et sali par du limon comme la *Lettenkohle* du keuper wurtembergeois.

Parallèle avec la houille. — D'après ses traits généraux, la houille de seconde formation paraît être formée comme la houille paléozoïque, c'est-à-dire d'écorces, feuilles et fusain disposés en lits parallèles avec du charbon amorphe entremêlé. Le *petroleum-oil-cannel-coal* de la Nouvelle-Galles-du-Sud est un combustible intermédiaire entre le cannel-coal et la houille ; il est rendu schisteux par beaucoup d'empreintes stratifiées.

II. — LIGNITE. — BRAUNKOHLE (*Werner*).

Le lignite, ou *houille brune* des Allemands et des Anglais, est réputé se trouver principalement dans l'étage de l'argile plastique. Toutefois il se présente en abondance, avec des qualités qui le rapprochent davantage de la houille, dans le terrain supra-crétacé, celui de la Provence notamment.

Nous distinguons essentiellement, au point de vue où nous sommes, le *lignite xyloïde* de l'autre, que nous appellerons *lignite ordinaire* parce qu'il est de beaucoup le plus répandu; il est aussi le plus ancien. Les mots de lignite parfait ou imparfait n'ont que faire ici.

Lignites ordinaires.

Le lignite, contrairement au sens du mot, d'après de nombreuses constatations relatées plus bas, est formé principalement, non de bois comme on le dit, mais plutôt de menus débris foliaires et de tiges herbacées transportés et bien stratifiés (*fig.* 6, Pl. IV). M. le marquis de Saporta m'a dit n'avoir pas vu de bois dans les lignites de la Provence. Avec lui, je crois que si l'on a appliqué le mot lignite indistinctement à tous les combustibles tertiaires, c'est d'abord parce qu'il y en a qui sont principalement formés de bois et aussi parce que le lignite ordinaire se fendille, se lève en plaques ayant souvent l'apparence d'éclats de bois. Il y a bien longtemps que Cuvier et Alex. Brongniart ont distingué, parmi les lignites, ceux qui sont feuilletés et à structure effacée, semblables à de la houille noire, des lignites xyloïdes.

Le lignite ordinaire, formé d'une manière analogue à la houille, présente aussi, comme elle, plusieurs espèces dont les différences sont dues principalement à l'état de conser-

vation dans lequel ont été entassés les débris végétaux. Comme cas extrêmes de structure, je citerai la *papierkohle* à feuillets minces, flexibles comme du dopplérite desséché, et les cendres noires ou poudres brunes, mélange de matières terreuses et végétales, ces dernières non entièrement décomposées mais très désagrégées.

Voici les constatations que j'ai faites sur les lignites ordinaires, de beaucoup les plus fréquents :

Description d'un certain nombre de lignites.—Les lignites parfaits de Fuveau sont diversement composés : la Menette compacte paraît formée de bouillie végétale avec menus débris de plantes plus ou moins charbonnés ; le premier feuillet de Restouble est visiblement formé de parcelles végétales ; le charbon bleu, de tiges herbacées et roseaux posés à plat, ayant pris l'éclat du fusain. En somme, le lignite de Fuveau présente plusieurs variétés comme la houille ; seulement, il n'est pas barré par de fortes écorces. Le schiste charbonneux présente de minces lames végétales. Le charbon est nettement séparé des roches. Lorsque le calcaire est au contact du charbon, il est rendu plus ou moins bitumineux par des particules végétales, qui se sont déposées en même temps que se précipitait le carbonate de chaux.

Le lignite de Garlaban, finement strié sur la tranche, me semble être né de la superposition à plat de menus débris herbacés ayant parfois l'aspect du fusain et paraissant, pour une bonne partie, appartenir aux *Phragmites*.

Le lignite sub-miocène de Manosque, d'après Fournet, présente souvent une structure schistoïde due à l'alternance de lames ternes et résineuses. M. de Saporta pense qu'il est entièrement formé de cypéracées, typhacées, avec des *Nymphæa*, ces plantes remplissant les roches associées. Les échantillons que j'ai reçus ne présentent que de fins et minces débris végétaux ; ils rappellent, les uns les schistes très charbonneux, les autres les houilles à parcelles

végétales. Une variété compacte comme du cannel-coal, mais plus brillante, offre sur la tranche un fin pointillé stratiforme. Une variété schisteuse est remplie de feuilles dicotylédones sans fusain, une autre est composée d'épidermes dans une boue végétale.

Au Plan d'Aups (Var), dans une série de calcaires et de marnes, se présente, à côté du charbon feuilleté, de la marne charbonneuse jouant le rôle de schiste bitumineux.

Le lignite de Mondragon (Vaucluse), en planches de différents aspects, stratifié par des veines et filets plus ternes ou plus clairs, présente deux variétés : 1° l'une à fins débris noyés dans une pâte végétale et participant un peu du fusain ; 2° l'autre plus compacte, terne, stratifiée par de très minces lames plus claires. La couche exploitée actuellement offre au mur un assez beau charbon barré renfermant du fusain de bois en quantité, et au toit un banc séparé du premier par un entre-deux coquillier rempli des mêmes éléments, avec du fusain passant à la houille et ne devant pas en différer beaucoup.

Un lignite des Alpes, terne sur le plat, est très finement strié sur la tranche par l'alternance de parties plus claires et plus terreuses, ces dernières provenant comme d'un fonds de marais enlevé par les eaux et déposé lentement dans quelque lac ; en se rapprochant et se touchant dans quelques veines, les lamelles claires arrivent à former du lignite brillant.

Un lignite de Prades (Pyrénées-Orientales) est formé aussi de boue végétale et de minces détritus déposés parallèlement, mais le tout est confus dans une masse compacte.

Le lignite de Monte-Murlo (Italie, province de Sienne), est composé de menues empreintes plates, dans un ciment végétal, sans aucune tige ligneuse ; on dirait des débris herbacés déposés dans une lagune avec de la tourbe liquide.

Le lignite tertiaire d'Ayka (Hongrie), est stratifié par des feuillets clairs sur un fond de vase charbonneuse. Une variété argileuse de la mine Selmecz contient du fusain.

Le lignite néocomien de Koumi (Ile de Négrepont), est parfaitement et finement stratifié, dans l'ensemble comme dans les détails; j'en ai examiné une variété noire claire renfermant assez de fusain.

Un lignite plus récent offre des lames de houille claire de provenance ligneuse et se montre principalement formé de boue végétale, d'herbes sèches qui ont l'aspect du fusain, et de membranes jaunâtres.

Un lignite de la Ferté-sous-Jouarre est simplement formé d'une argile imprégnée de matières végétales sans structure apparente, le tout étant très décomposé et presque confondu.

Le lignite brun de Friedsdorf, près Bonn, est un mélange d'humus, de feuilles dicotylédones et de bois. Aux environs de Darmstadt, existent plusieurs variétés, dont une est formée en proportion variable de feuilles dicotylédones et d'humus schisteux; une autre, plus noire, renferme des branches aplaties, des fragments d'écorces et du bois; une troisième est brune, sans autres traces organiques que quelques cellules, visibles seulement au microscope. Un lignite miocène, des environs de Francfort, paraît formé d'un terreau remanié, renfermant des graines et autres débris assez bien conservés.

Un lignite tertiaire de Californie m'a paru formé de débris foliacés et corticaux bien stratifiés avec du fusain moins sec que celui que contient la houille.

Dans l'extrême Orient, le lignite ressemble à la houille; celui de l'île Formose montre sur la tranche des lames brillantes et ternes dénotant des débris herbacés, dans une houille amorphe déposée presque sans mélange de limon. Un lignite du Japon (Takashima) offre des empreintes corticales et est organisé jusque dans les parties claires. En

1878, la Chine a exposé un charbon ligniteux présentant des plaques de bois converties en une même houille que les autres parties tout organisées où l'on découvre, entre les feuillets stratifiés, des tissus croisés qu'à leurs cellules allongées et souvent comme réticulées, on pourrait croire avoir appartenu à des écorces de végétaux de marécages.

Conclusion. — Tous les lignites que j'ai vus, ayant la structure mécanique des roches de sédiment, sont, à n'en pas douter, le produit d'un transport par les eaux de débris organiques entraînés dans un état de décomposition pour le moins aussi avancée que ceux de la houille ; la boue végétale et le ciment bitumineux sont peut-être même plus abondants dans le lignite que dans la houille; les débris chlorophylliens y ressortent en lamelles plus minces, représentant en général des plantes herbacées. L'abondance du fusain et ce fait que beaucoup de débris en ont l'aspect indiqueraient une végétation de terre ferme qui aurait été desséchée en partie avant le transport par les eaux.

Je dois dire que dans un lignite à veines mates j'ai vu celles-ci ressembler à de la vase d'étang et contenir de petites racines ; mais en général la disposition des débris végétaux dans le lignite dénote un léger transport, au moins du voisinage des lagunes dans leur intérieur. M. le marquis de Saporta, ayant remarqué à Manosque, dans les lits bitumineux schistoïdes supérieurs, des feuilles et rhizomes de différentes plantes accumulés comme si ces plantes avaient vécu sur place, et des plaques recouvertes d'une seule sorte de plantes, m'a dit croire que sur une grande largeur les bords des lacs de dépôts ont été envahis par une puissante végétation de plantes marécageuses qui se sont peut-être entassées sur place ; mais il serait porté à croire qu'elles ont aussi été entraînées dans les profondeurs. Et, en effet, dans la substance du lignite, il y a souvent de nombreuses petites coquilles non remaniées. Sa subordi-

nation en Alsace avec le calcaire coquillier qu'il enrubanne parfois a fait dire à M. Daubrée (*) qu'il résulte d'un dépôt lent d'eau douce.

Tout convie à admettre que le lignite ordinaire s'est formé, dans des lacs, de débris des plantes en majeure partie herbacées qui les bordaient ou bordaient leurs affluents. Sous ce rapport il n'y aurait donc entre la houille et le lignite que la différence du temps et de la flore, différence à la vérité grande, mais non totale. Toutefois il n'existe pas, à Fuveau ni à Manosque, de tiges debout comme dans le terrain houiller, producteur de combustible par excellence. C'est que la formation était réellement lacustre, comme l'indiquent les calcaires et argiles encaissant le charbon de la Provence, ou la structure fissile des lignites de Bonn et de Darmstadt. Un lignite blond très récent de l'Oural m'a paru résulter de substances ulmiques accumulées par l'eau au fond d'une lagune.

Ludwig a admis que le lignite de Salzhausen est un produit de tourbage. Mais M. Hans Tache (*), qui connaît parfaitement le gîte, prend parti pour le transport, en se fondant sur ce que le lit inférieur est formé de plantes marécageuses, de feuilles sans tiges ligneuses, et se laisse diviser en minces lamelles comme du papier, sans présenter aucun indice de racines en place : quant au lit supérieur, formé d'un chaos de tiges, branches et feuilles, il pourrait bien avoir eu l'origine mixte du dépôt de Saint-André-le-Gaz, d'après ce qu'en dit M. Tache, qui se prononce cependant encore pour le charriage.

M. Geinitz a reconnu que la *Quaderkohle* est formée de plantes terrestres entraînées avec des boues. Je crois que l'*Erdkohle*, souillée de matière minérale, est confondue à tort avec la tourbe ; c'est une boue charbonneuse qui ré-

(*) *Bull. Soc. géol.*, 2e série, t. VII, 1849-50, p. 449.
(*) *Das Braunkohlenlager von Salzhausen*, 1859.

clame au contraire l'intervention de l'eau comme véhicule de formation.

Lignite xyloïde.

Avant de raisonner sur la formation de ce lignite, je vais rappeler en deux mots les observations les plus nettes auxquelles il a donné lieu, et décrire celui de Saint-André-le-Gaz, que j'ai étudié.

Description de quelques lignites xyloïdes. — En Saxe, le lignite xyloïde est principalement formé de conifères : la texture du bois se retrouve dans presque toute la masse ; les roches encaissantes renferment des tronçons de bois. Sternberg a décrit du lignite xyloïde comme un agrégat de bois de diverses espèces avec une multitude de feuilles et de fruits. Le bois bitumineux de Wolfseck, d'après Bory de Saint-Vincent, gît au milieu d'une argile, et résulte du flottage de tiges déposées au hasard, dans une anse de cours d'eau, sans feuilles ; les tiges sont écrasées de manière à former une couche dont on distingue les bûches constituantes, les unes noires passées à l'état de houille, et les autres, situées près du toit, peu altérées et de couleur chocolat.

Mais, généralement, le lignite xyloïde est composé, avec des arbres comprimés, de débris herbacés en plus ou moins grande proportion. Le lignite d'Oropos (Grèce), à part quelques veines de boue charbonneuse et argileuse, m'a paru formé de bois avec débris herbacés ; le bois, de couleur marron, passe au fusain qui, lui, passe à la houille.

Lignite de Saint-André-le-Gaz (Isère). — Le lignite de Saint-André-le-Gaz, situé dans le mio-pliocène lacustre du Dauphiné, repose sur une argile marneuse, et est recouvert presque immédiatement de poudingues appartenant au diluvium. Il forme une couche (*fig.* 7, Pl. IV) de $0^m,45$ à $0^m,55$

d'épaisseur de lignite compact, sans joints bien marqués, toutefois stratifié dans l'ensemble, avec un toit et un mur assez bien limités; cependant quelques tiges couchées y font légèrement saillie ou sont presque isolées par une interposition argileuse. La masse terne, bistre, contient visiblement des tiges comprimées de bois jaunâtre, des fortes branches rameuses et noueuses ondulant la stratification; la partie brune se compose de bois plus altéré, de plaques ligneuses représentant des branches aplaties, de parties argileuses remplies de menus débris de petites tiges herbacées et de petites racines. Les restes végétaux ont été entassés régulièrement, tout le bois a été charrié; on n'a jamais vu de tiges s'élever à travers la couche: cependant on trouve au mur des racines ligneuses, mais du côté de l'est seulement; à l'ouest, il n'y a à la sole que de minces radicules de plantes aquatiques, dans une argile où sont couchés quelques petits chaumes aplatis: évidemment nous avons affaire à un dépôt de transports de bois dans un marais peu profond, où pouvaient croître quelques herbes, ce qui donne à l'ensemble un caractère mixte.

Mode de formation. — Ce n'est qu'au sujet du lignite xyloïde que les géologues ont pu dire que le lignite provient d'amas de bois flottés (Linck), accumulés là où ils étaient garantis de l'agitation des eaux (Sternberg), ou de feuilles et tiges transportées dans des anses de mer (Léopold de Buch).

On connaît des couches de bois apportées par le Mackensie et déposées entre des couches de gravier dans les lacs qu'a traversés récemment ce fleuve; en voyant sur les rives du Gange des couches de bois bitumineux alterner avec de l'argile, du sable et des galets, on a cru surprendre sur le fait la nature en voie de produire des couches de lignite.

Mais, même en ce qui concerne le lignite xyloïde, on ne saurait admettre qu'il provienne de radeaux échoués. Il me

paraît résulter plutôt d'un transport de bois par des afflux d'eau dans des marais forestiers où les herbes fournissaient un certain contingent de matière végétale.

Il est à remarquer qu'il n'y a presque pas de fusain dans le lignite xyloïde ; les arbres étaient-ils donc entraînés avant désorganisation interne, ou, ce qui n'est pas invraisemblable, les conditions climatériques n'avaient-elles pas changé beaucoup depuis la formation des lignites ordinaires? C'est ce qu'on ne saurait dire. En tout cas, dans les temps géologiques les plus récents de l'époque tertiaire un nouvel ordre de choses paraît commencer dans la formation des combustibles minéraux : le tourbage agissait avec le transport de matières végétales par les eaux. Nous verrons qu'il se produit encore des faits analogues.

SECTION VI

TOURBAGE ET AUTRES ACCUMULATIONS DE MATIÈRES VÉGÉTALES.

Nous avons maintenant une idée du mode d'accumulation des matières végétales qui ont formé les combustibles minéraux.

Il nous reste, pour compléter notre étude, à voir quelles sont, dans le monde actuel, les phénomènes du même ordre qui se produisent, et à comparer leurs effets à la houille.

Examinons d'abord les tourbes et l'opération du tourbage.

Généralités. — La tourbe, et cela est à faire remarquer en premier lieu, n'est jamais enfoncée profondément ; elle est un produit de l'époque quaternaire, jovienne ou alluviale, on la dit postérieure à la formation glaciaire, ou

même, en Europe, à la domination romaine : c'est donc une formation essentiellement contemporaine.

Elle s'engendre dans des marécages particuliers qui se remplissent de plantes herbacées à racines entremêlées, mousses, roseaux et joncs, et accessoirement de troncs d'arbres ou de bois. La tourbe s'accumule soit au fond des eaux stagnantes, soit sur le sol mouillé des forêts, soit au bord des lacs, à l'embouchure des fleuves, ou dans les vallées derrière les digues naturelles des rivières lentes à rives basses et plates. C'est une formation très répandue, digne de plus d'intérêt qu'on ne lui en accorde.

Les plantes qui forment la tourbe s'étant développées sur leurs propres débris désagrégés et décomposés, ce combustible a une structure spongieuse à parties entrelacées, ce que l'on aperçoit encore lorsqu'il est devenu compact ; dans les jeunes tourbes on voit des chaumes verticaux ou obliques qui forment des canaux dans les plus vieilles ; et bien qu'accumulés par assises parallèles, les lits sont à parties enchevêtrées.

La tourbe est plus ou moins faite : à la longue la forme des *Sphagnum* disparaît, les rhizomes et racines se reconnaissent difficilement, les parties se désagrègent, la masse prend une couleur jaune pâle, puis brune, mais les tissus persistent très longtemps.

Les dépôts tourbeux varient de quelques centimètres à 5, 10 ou même 20 mètres d'épaisseur. Ils se forment à raison de 1 mètre tous les trente ans d'après M. de Brughat, ou seulement de 1 pied par siècle d'après O. Heer. Ils sont plus lents à se former dans les marais que sur les montagnes, où le phénomène de tourbage accumule plus rapidement la matière végétale que ne font les forêts.

Mais le mode de formation de la tourbe n'est rien moins qu'unique, et les végétaux qui y contribuent, indépendamment de leur état de conservation, sont loin d'être les mêmes dans tous les cas. Aussi s'en faut-il de beaucoup

qu'on s'accorde sur le phénomène du tourbage, ce qui, à mon avis, vient principalement de ce qu'on ne distingue pas assez la tourbe de marais de la tourbe proprement dite, qui est un produit de notre époque.

I. — TOURBE PROPREMENT DITE.

La tourbe supra-aquatique de montagne, recouvrant les hauts plateaux, ou même les pentes arrosées des massifs montagneux, ou encore les rochers auxquels elle est en quelque façon suspendue sur les versants rapides du Hartz (Lesquereux), est principalement formée de *Sphagnum* ou mousses amies des eaux, jouant un rôle essentiel à raison de leur croissance rapide, continue, et de leur hygroscopicité ; sans elles, en effet, dans les mêmes conditions, les autres plantes ne produisent que du terreau.

Cette tourbe est rarement transformée en un charbon brun compact ; elle est vaguement stratifiée ; de l'avis de M. Kauffmann, qui connaît bien les tourbes de la Suisse, les assises n'en sont pas nettement distinctes.

II. — TOURBE DE MARAIS.

Dans les marais tourbeux des bas-fonds, ou du bord des rivières, des lacs ou de la mer, la plupart du temps très étendus, les *Arundo* à végétation très rapide, à tiges rampantes et radicelles très nombreuses, les *Scirpus palustris*, les *Carex*, les joncs avec les Hypnacées, les *Nymphæa*, etc., toutes plantes semi-aquatiques, forment des couches étendues de débris sans liaison, pouvant alterner avec du sable et du limon, stratifiés dans l'ensemble, par suite souvent de quelque mouvement d'eau; cette tourbe est en effet souvent recouverte d'eau, et peut se former à une certaine profondeur. La tourbe limoneuse compacte à cassure

cireuse, presque privée de traces végétales apparentes, se rencontre au fond des marais.

La tourbe de la Verpillière (Isère), reposant sur du gravier ou de l'argile noire, est formée d'herbes en lits, dont les parties sont entrelacées; des chaumes y sont dressés et l'on remarque beaucoup d'épidermes et de cuticules dans une masse brune amorphe qui a dû être presque liquide.

La tourbe de marais se forme dans les lagunes et s'y accumule jusqu'au dessèchement de celles-ci; elle commence par une végétation aquatique recouvrant la marne argileuse où prennent pied, du moins près des bords, les herbes et plantes. La tourbe est pure si les lagunes ne sont pas inondées, ou mélangées de limon; dans le cas contraire, si le limon domine, la tourbe y forme des lames et traînées irrégulières. La moindre invasion arrête l'entassement et la croissance des végétaux. Les tourbières du lac de Neuchâtel sont coupées de lits de gravier.

Ces tourbes existent sur de grandes étendues le long de la Baltique et en Hollande, où les bancs sont séparés par des couches de marnes; elles se sont formées en abondance le long de la Somme, en France, et du Minnesota en Amérique. Je dois une partie de ces données à ma correspondance avec M. Lesquereux.

Tourbe fossile. — La tourbe de marais se rencontre à l'état fossile en Suisse, où elle est connue sous le nom de *Schieferkohle* diluviale; elle est composée de lits de tourbe alternant avec des bancs de sable et d'argile. Dans la partie supérieure de la couche d'Utznach, de formation interglaciaire, on reconnaît des mises de mousses entrelacées et traversées de roseaux, le tout formant un feutre épais comprimé et presque compact. On y trouve des troncs couchés très comprimés et des souches debout; mais celles-ci seulement aux limites de la couche de 5 à 10 pieds, qui a dû avoir cinq à six fois cette épaisseur lors de sa formation

dans un marais. Elle repose sur une argile claire pareille au blanc-fond des marais tourbeux.

Conditions de formation des tourbes.

On a dit et répété que, fréquente dans les régions hyperboréennes, la tourbe n'existe pas dans les pays chauds, où les plantes ne peuvent se convertir sans se corrompre; il lui faut un climat froid et humide; la température la plus favorable est celle de 6 à 8°; c'est par 50° de latitude Nord ou Sud que se montrent les dépôts tourbeux les plus étendus et les plus épais; les marais tourbeux de l'Alabama descendent cependant jusqu'au 31e degré (Lesquereux).

La tourbe supra-aquatique ne prend naissance que sur un sol imperméable, dans une eau claire, acidulée par les produits ulmiques de la décomposition végétale, stagnante ou peu renouvelée, ce qui a pour effet d'empêcher l'accès de l'air (O. Heer), et aussi de maintenir l'eau antiseptique; les eaux doivent être peu profondes et peu agitées (Lesquereux), en tout cas non courantes. Enfin, d'après les observations de M. Belgrand, la tourbe immergée ne se forme dans les vallées assez larges à pente faible que quand il n'y a pas de crues trop fortes où lorsque les eaux des crues ne sont ni troubles ni limoneuses.

Les plantes de la tourbe proprement dite sont au moins singulières: elles puisent leur nourriture là ou les autres ne pourraient vivre, à cause de l'âcreté de la masse morte en voie de décomposition des acides carbonique et gallique qui conservent les débris végétaux.

La tourbe de marais supporte déjà l'action des eaux courantes.

III. — TOURBES DE MARAIS BOISÉS ET DE FORÊTS MARÉCAGEUSES.

Dans les emplacements déprimés d'anciennes forêts où

les herbes de marais ont tué les arbres, la tourbe se forme rapidement, partie de plantes herbacées, partie d'arbres couchés.

D'après ce que m'en a écrit M. Lesquereux, l'entassement de bois de Kiögge, près Copenhague, attribué au flottage par les naturalistes danois, résulte d'arbres ayant poussé sur place dans un marais, et successivement renversés les uns sur les autres; le phénomène est encore en activité, à proximité, dans un enfoncement couvert d'eau où les bouleaux croissent pressés, les uns inclinés, les autres debout, peu attachés par les racines sur un fond limoneux; les grands vents renversent parfois ces fourrés qui se reforment très activement.

Le singulier gisement de Kiögge est formé de bouleaux entassés les uns sur les autres presque sans mélange d'autres plantes, et ayant vécu sur place, parce que toutes les parties, depuis les racines jusqu'aux chatons, tiennent encore les unes aux autres. La partie supérieure de l'amas est composée d'écorces vides enchevêtrées de mille et mille façons dans une boue ou pâte à moitié liquide résultant de la décomposition du bois.

J'ai eu l'occasion d'observer dans l'Oural une tourbe de forêt marécageuse, formée d'herbes et de débris d'arbres. Comme l'indique la *fig.* 8, Pl. IV, des souches sont enracinées dans sa partie supérieure à deux niveaux différents; il s'en trouve aussi à la base et par places dans toute l'épaisseur de la couche de tourbe. De nombreuses buttes et branches sont couchées dans la masse et l'on voit qu'une partie importante de la tourbe, du moins celle du bas-fond, est formée de fragments d'écorces et de bois, de feuilles et autres débris transportés et déposés par les eaux; dans la partie *e*, elle paraît composée exclusivement de végétaux charriés: il y a des écorces de bouleau aplaties; quelques parties feuilletées sont formées d'humus et d'épidermes superposés; ceux-ci sont noirâtres en bas et roux en haut du gîte. L'ensemble est

stratifié par quelques veines argileuses. Sur les bords de la formation, en *c*, les débris végétaux n'ont pas été remaniés, et la tourbe est feutrée et herbacée.

Le fond est formé d'une argile grise pénétrée par places de racines d'herbes, représentées par des épidermes noirs; il est ondulé: en *a* il y a à peine de l'humus; en *b* est une poche de tourbe.

Le lignite de Saint-André-le-Gaz a des rapports avec cette formation actuelle.

IV. — DÉPÔTS DE MATIÈRES VÉGÉTALES PAR LES EAUX COURANTES.

Les accumulations de matières végétales décrites ci-dessus ne rendent pas suffisamment compte de la formation des combustibles minéraux en général. J'ai dû rechercher d'autres points de comparaison.

J'ai remarqué dans les étangs que les débris végétaux amenés avec le limon se déposent en lits réguliers.

Je tiens d'un voyageur que dans l'Afrique intertropicale, dans les alluvions de certains cours d'eau, il se rencontre des lits charbonneux formés de feuilles et détritus de plantes transportés et déposés par les eaux; celles-ci ne les ont pas ramassés en ruisselant sur un sol boisé, trop encombré de plantes pour cela, mais en inondant les parties basses des forêts.

On comprend que dans les pays boisés où les eaux pluviales coulent limpides, il puisse s'accumuler des couches de matières végétales au fond de certaines lagunes. Ce cas existe probablement dans les pays chauds où il tombe des pluies torrentielles, mais il n'a pas, que je sache, été rapporté avec détail dans les récits d'exploration.

Parallèle avec la houille et le lignite.

Nous pouvons maintenant signaler les parallèles posés

entre la tourbe et la houille, et les raisons pour ou contre.

Auteurs gagnés à l'idée que la houille s'est formée comme la tourbe. — Se sont déclarés partisans de la formation de la houille semblable à celle de la tourbe : Beroldingen, de Luc, d'Omalius d'Halloy, Lindley et Hutton, M. Culloch, Elie de Beaumont, Burat, Binney, Logan, Hooker, etc. Link l'a soutenue en se basant sur une prétendue parité de structure. Unger a cherché à montrer que la houille, dans la composition et la constitution de ses parties, dans son gisement, concorde avec la tourbe et a la même origine. Steenhouse a cru trouver la preuve chimique que la houille provient non de bois mais de tourbe.

Théorie de M. Gœppert. — M. Gœppert (*) s'est plu à comparer certaines couches de houille aux bancs de tourbe côtière, et à expliquer que les couches près desquelles il n'y a pas de restes marins, ont pris naissance dans des lacs d'eau douce nés d'enfoncements et où les dépôts se sont répétés. Tout en admettant un climat tropical et une végétation arborescente, il voit pour preuve de l'origine non sédimentaire de la houille la tranquillité de sa formation et l'impossibilité de concevoir un arrivage de plantes suffisant pour former des couches aussi étendues, puissantes et régulières que certaines de celles exploitées en Angleterre et en Amérique. Il se fonde sur l'indépendance des roches du toit, et ne fait de réserve qu'au sujet de la structure feuilletée de la houille, qu'il ne connaît pas à la tourbe.

Suivant lui, les *Stigmaria* et *Calamites* formaient la base des tourbières.

Des botanistes ont émis l'idée, au moins étrange, que les *Sigillaria* ont joué le rôle des *Sphagnum*.

Système de M. Lesquereux. — M. Lesquereux, le savant qui

(*) *Abhandlung der Steinkohlen*, p. 122, 123, 137, 141 à 144, 289.

connaît le mieux les tourbières, m'a généreusement fait part de son opinion que la formation des tourbes de notre époque représente les circonstances, les accidents et les faits qu'on peut observer dans la formation des houilles. Il dit que les assises par lamelles de 2 à 3 millim. d'épaisseur, qui se voient si distinctement dans la houille, se reconnaissent parfaitement sur les bancs de la tourbe, même de la tourbe supra-aquatique : ainsi une tranche d'une couche de tourbe de 10 pieds lui a montré, au sommet, les couches annuelles d'un pouce au plus, diminuant graduellement par la compression et la décomposition, jusqu'en bas, où elles n'ont plus que 4 à 5 millim. d'épaisseur, et parfois moins. Mais nous avons vu que les lames de houille sont souvent des écorces déterminables et que celles qui sont formées de boues végétales n'ont pas la structure de la tourbe compacte. On ne trouve, ajoute l'auteur, ni dans la houille ni dans la tourbe, aucun élément boueux. Nous verrons que le contraire a souvent lieu dans la houille. Toutefois, l'auteur paraît admettre une certaine alternance de limon dans la tourbe sous-aquatique des marais, et la diffusion par l'eau du fusain dans la houille. Pour lui, les traînées irrégulières de houille dans les grès sont dues au transport par l'eau de la matière ligneuse, de même que les veines lignitiques qu'on voit le long des bords des grandes rivières. Mais les traînées de houille sont exactement formées, comme les couches de houille, des mêmes éléments disposés de la même manière. M. Lesquereux m'a complété son système en expliquant que la tourbe sous-aquatique, arrivant à perdre sa structure et étant mal stratifiée, compacte, sans traces d'assises ou stries horizontales indiquant des couches annuelles, offre un exemple de la formation du cannel-coal.

Il croit que, d'après ce qu'il a vu dans l'Amérique du Nord au lac Drumond, de même des lits de houille et de lignite recouverts d'arbres ont bien pu se former par une végétation flottante, avançant sur les lagunes, se recouvrant

d'arbustes et enfin d'arbres, laquelle s'enfonçait de temps en temps. C'est tout au plus si les *Stigmaria* ont donné incomplètement lieu à un phénomène analogue. Enfin, il cite à l'appui de son système les superpositions de marais tourbeux et de forêts qu'il a eu l'occasion d'observer à la Nouvelle-Orléans, à l'embouchure du Mississipi.

Il compare le lignite tertiaire de Bovey-Tracey d'Angleterre avec l'amas de Kiögge. Mais il y a une grande différence dans l'arrangement des parties. Il compare aussi les écorces de bouleaux aux tiges de Sigillaires recouvrant les couches de houille, mais ces dernières, vides et aplaties, ne se présentent pas du tout comme les premières, tombées et enchevétrées sur place, en possession ou entourées de leurs branches, feuilles et fruits.

Raisons présentées par ses adeptes en faveur du tourbage comme mode unique de formation des combustibles minéraux. — M. Lafard, s'appuyant sur ce que la pression peut transformer la tourbe en une sorte de houille; d'Archiac, sur la continuité et le parallélisme des lits de houille les plus minces sur de très grandes étendues; d'autres, sur ce que les bords de tourbières sont soumis à des inondations et que la tourbe y présente des entre-deux de limon, ou sur ce que la répartition de la houille sur le globe est à peu près celle de la tourbe, etc.; tous admettent l'identité ou l'analogie de formation.

On verra que cette conclusion pèche par la base, comme ne reposant pas sur une observation attentive et complète de la structure et des circonstances de gisement de la houille, circonstances que nous décrirons dans un autre mémoire avec tous les détails possibles.

Raisons opposées au tourbage. — Contre le rapprochement, parlent : une végétation arborescente (la faible quantité de tissus ligneux conservés avait fait supposer le contraire) ; la certitude que les végétaux houillers ne se sont

pas développés sur leurs propres débris comme les mousses; l'analogie de ces végétaux avec ceux de certains pays insulaires intertropicaux, où il ne se forme pas de tourbe proprement dite, quoique les débris d'écorces et de feuilles puissent encore se conserver dans les marais, etc.

M. F. Mohr, partisan de la formation marine, objecte au tourbage quelques-unes des bonnes raisons suivantes : l'alternance de filets argileux et charbonneux ; l'intercalation dans la houille de minces lits de schistes très continus; raisons qui s'opposent également à la théorie en ce qu'elles exigent autant d'oscillations du sol ou d'interruptions du tourbage qu'il y a de lits charbonneux, car c'est une exception de trouver dans la tourbe des lits de schistes, et il n'en saurait être autrement.

La différence de structure existant entre la houille et la tourbe proprement dite ne peut moins faire que de concorder avec une différence dans le mode de formation, puisque, d'un côté, la disposition des débris végétaux reconnaissables formant la houille est constamment celle d'un dépôt sous l'eau, et que, d'un autre côté, dans la tourbe, ils sont entrelacés comme ceux des plantes qui se détruisent et se décomposent sur place.

TRAITS D'UNION ENTRE LE PRÉSENT ET LE PASSÉ.

Si, toutefois, laissant de côté la tourbe de montagne, nous n'avons en vue que la tourbe des marais profonds, nous ne pouvons nous empêcher de trouver quelque analogie dans le mode d'accumulation des débris de plantes sous l'eau ; en sorte que, pour nous, les lacs marécageux représentent très imparfaitement et en tout petit, sous le rapport qui nous occupe, les bassins carbonifères au moment de la formation des couches de houille.

Que l'on amplifie en effet par la pensée le phénomène que nous avons observé dans l'Oural, et l'on aura une

couche de tourbe stratifiée, sauf près des bords de la lagune.

Si maintenant nous nous reportons à ce qui se passe dans les étangs, nous voyons encore plus d'analogie ; nous y avons, en tout cas, l'image de la formation de certains lignites et schistes charbonneux.

Mais si la formation du lignite se retrouve en petit, il n'en saurait être de même du terrain houiller, qui s'est formé par enfoncement de vallées attirant par cela même tout à elles dans les dépressions produites.

On connaît dans le sud de l'Amérique du Nord, entre le 28ᵉ et le 37ᵉ degré, dans un pays plat, humide et chaud, d'immenses forêts marécageuses, qui nous donnent une image des contrées carbonifères ; des cours d'eau claire circulant dans les marais se rendent dans des lacs. Que ceux-ci se creusent, que la tourbe s'y écoule et que des affluents boueux venant de pentes non boisées environnantes y versent les produits minéraux de la désagrégation superficielle d'un terrain granitique, et l'on aura quelque chose d'analogue à ce qui se passait pendant la formation d'un bassin houiller.

On veut que le passé ait ressemblé au présent.

A cela on peut répondre que la tourbe est une formation presque exclusive de notre époque ; le Dʳ Blandet la rapporte à une accalmie fluviatile. C'est en tout cas un phénomène des contrées froides et tempérées qui ne pouvait pas se produire à l'époque carbonifère. Le climat s'y opposait de telle manière que, n'avait été l'entraînement et le dépôt par les eaux de la matière végétale des marécages houillers dans des dépressions où le limon venait les ensevelir et les conserver, cette époque n'aurait pas donné de charbon minéral.

Aujourd'hui il y a des formations charbonneuses de deltas, de lacs et de lagunes. Il en était de même à l'époque des lignites, c'est pourquoi ces combustibles gisent dans

des conditions très variées, toutefois le plus fréquemment dans des dépôts lacustres.

Tandis qu'à l'époque houillère, la ressemblance complète dans tous les pays des combustibles et dépôts encaissants dénote une formation uniforme par voie de transport dans les dépressions du sol qui s'enfonçaient. Il n'y a que l'accumulation de la matière végétale dans des creux qui puisse rendre compte des grands amas de houille du centre de la France. Nous donnerons plus tard une explication du phénomène.

CONDITIONS DE FORMATION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX EN GÉNÉRAL.

Nous avons cherché à remonter du passé au présent, et dans tous les terrains géologiques nous avons trouvé des combustibles de transport, accompagnés, comme on verra, des mêmes circonstances de gisement.

Mais s'il paraît y avoir eu quelque unité dans le mode de génération des combustibles fossiles, la nature y a déployé une puissance et une activité bien variables, indépendamment des moyens que nous discuterons dans un autre mémoire : à l'origine, la végétation marécageuse, étalée au loin autour des lagunes carbonifères, était arboriforme et néanmoins des plus actives ; à l'époque tertiaire, autour des lacs, elle était principalement composée de hautes herbes comme il en pousse dans l'Afrique équatoriale ; aujourd'hui, la végétation bordant les marais est très chétive.

Les marais boisés produisant deux fois plus de matière végétale que les forêts de terre sèche, il n'y a rien d'invraisemblable à croire que la végétation houillère en fournissait quatre fois plus dans le même temps.

La présence du charbon dans les dépôts houillers est presque de règle constante, tandis que c'est un fait isolé

dans les autres formations. Cela paraît avoir été en rapport avec une écorce terrestre très aquatique à l'époque houillère, ou une topographie peu accidentée ayant permis l'extension des marécages ; il semble en effet que les bassins tertiaires qui ne sont pas pourvus de lignite n'étaient pas entourés de larges plaines basses recouvertes de grandes herbes de marais.

Mais, indépendamment du mécanisme de la formation, il semble y avoir à cela une autre raison de l'ordre climatologique; car si, avec M. le marquis de Saporta, avec qui j'ai examiné cette question, nous considérons qu'il n'y a beaucoup de lignite qu'en bas du miocène et en haut de la série crétacée, correspondant à des époques de l'histoire de la terre où les plantes fossiles indiquent une température plus humide, égale et chaude qu'avant et après, condition qui a aussi existé à l'époque liasique et qui a été portée à sa plus haute expression à l'époque houillère, nous pouvons bien incliner à croire qu'elle a influé considérablement sur l'importance de la formation charbonneuse. Le tourbage ne paraît même pas échapper à cette loi, puisqu'il exige un climat égal et humide.

L'humidité atmosphérique paraît même avoir été nécessaire à un autre point de vue, en permettant des précipitations aqueuses comme aux tropiques, capables d'avoir emporté dans les bassins de dépôts les détritus végétaux pourris dans les marécages voisins et les produits minéraux des déclivités environnantes.

Une difficulté se présente néanmoins, c'est la pureté des combustibles de transport ; MM. Lesquereux et de Saporta ne peuvent croire que les eaux qui ont transporté les débris de plantes dans les lacs l'aient pu faire sans entraîner du limon, du sable et de la boue.

Cependant, avant l'apparition de l'homme, la terre était presque entièrement recouverte de végétation, et le transport par les eaux des débris de plantes devait se faire sans

limon dans les pays peu accidentés ; le fait est que dans les régions boisées de l'Afrique centrale, les eaux des cours d'eau débordés sont limpides (H. Stanley).

Le transport de la matière végétale ne se faisait d'ailleurs pas, à proprement dire, par des rivières.

SECTION VII.

REVUE CRITIQUE DES THÉORIES PRÉSENTÉES SUR LA FORMATION DES HOUILLES.

Après avoir recherché les conditions de formation de la houille et des autres combustibles, la première partie de ce mémoire ne serait pas complète si je ne passais sommairement en revue les principales théories présentées sur cette question, et si je ne discutais leur bien ou mal fondé. J'aurai l'occasion d'établir par là, une fois de plus, que la houille est formée par voie de transport et sous l'eau, et il importe de le savoir, car dans ce cas, il y a à trouver plus de houille dans les bas-fonds et dans le cas contraire sur les hauts-fonds qu'offrait l'aire de dépôts.

Opinion que la houille s'est formée sur place, d'une manière ou d'une autre.

Idées générales de plusieurs auteurs. — L'examen des terrains houillers du Nord a fait adopter l'idée de la formation sur place, par MM. Rogers, Lesquereux, Newberry, Dawson, etc., qui n'ont guère vu d'obstacle à cela que la bonne conservation des débris de plantes sous un climat qui a cependant dû être très chaud.

Lyell a comparé les forêts carbonifères à celles bordant actuellement les deltas des fleuves, et qui sont exposées périodiquement aux inondations ; il a expliqué la pureté

de la houille, formée dans ces conditions de troncs et feuilles d'arbres jonchant le sol marécageux, par de hautes herbes à travers lesquelles filtrait l'eau. Pour lui, l'abondance de la houille résulte de la nature de la végétation et, à l'encontre de ce que nous croyons avoir le mieux établi, il l'a rapportée à un climat peu favorable à la décomposition des plantes.

DAWSON, comparant les marécages houillers aux marais littéraux du Canada, dit que le sol à *Stigmaria* a dû être au-dessus de l'eau, parce que les tiges n'ont pu devenir creuses et le bois se désagréger à l'état de fusain que dans des conditions subaériennes ; d'après lui, les végétaux ont crû sur un sol humide non submergé ; les Sigillaires, qui se développaient les unes après les autres, ont formé la houille, dont l'accumulation a été arrêtée par la submersion; un affaissement graduel tendant à établir la domination de l'eau était contrebalancé par des dépôts de limon et des élévations accidentelles. Pour lui, il y avait de grandes surfaces alluviales sur lesquelles s'étendait la végétation ; l'abondance des sédiments indique une formation semblable à celle des deltas.

Nos études botaniques contredisent une grande partie de ces suppositions.

BINNEY dit que si l'on peut juger des caractères des dépôts par les circonstances de gisement, comme la houille repose sur des roches très fines provenant de cours d'eau incapables d'avoir enlevé les forêts, et porte au toit, fréquemment, des traces de courants d'eau, Binney, dis-je, serait disposé à croire que la houille s'est formée sur place, parce qu'autrement on pourrait s'attendre, d'après lui, à trouver les couches de charbon d'autant plus épaisses que les courants d'eau étaient plus puissants.

LINDLEY et HUTTON se sont imaginé que la houille est née de végétaux tombés et pourris à la place où ils ont

vécu, et, avec **Buckland**, d'une végétation marécageuse, comme l'indique l'underclay à *Stigmaria*.

Geinitz, partisan de la formation sur place, croit que les couches de houille sont dues à du gazon, des arbustes et plantes cryptogames plutôt qu'à de grands arbres.

Ludwig a été jusqu'à supposer que la houille s'est formée dans des marais élevés, toujours sur un sol à *Stigmaria*, que l'on tient pour une condition essentielle.

Le Dr Hooker trouve une preuve de la formation sur place dans le manque d'interstratification de la houille avec les roches encaissantes et l'absence de sable dans celles-ci. Nous verrons que le contraire a lieu très fréquemment.

D. **Stur** m'a énoncé ses idées sur la formation de la houille : si elle s'est formée comme la tourbe, c'est avec une végétation de marais boisés intertropicaux ; de grands vents renversaient parfois les arbres qui se développaient sur leurs propres détritus. Il croit que la bonne houille est à la tourbe de Sphaignes (qui ne se développe dans les Alpes et les Karpathes que dans l'eau à 5°), comme la mauvaise est à celle de *Carex* et autres graminoïdes, sans consistance (qui ne se forme en Hongrie que dans des eaux plus profondes à 12° et 18°).

Goldenberg (*), développant une idée de Buckland, estimant que là houille s'est formée à la manière de la tourbe, croit pourtant que les Stigmariées, indépendantes des Sigillariées, et qui croissaient au fond de l'eau comme les *Isoetes*, ont précédé la formation des couches de houille en contribuant surtout au dessèchement des marécages houillers qu'envahissaient peu à peu le limon ; après quoi, le sol, affermi, se couvrait de la végétation qui a formé la houille ; la preuve en est, dit-il, que la sole des couches contient des racines de fougères et d'autres plantes herbacées seu-

(*) *Flora saræpontana fossilis*, 1re liv., p. 31 ; 3e liv., p. 12 et 13.

lement. L'auteur, poursuivant son idée, ajoute que la submersion des marécages causait l'ensevelissement des herbes et laissait dressés au toit les troncs d'arbres qui appartiennent tous aux Sigillaires dont les racines n'ont pas formé la houille, parce que, dans ce cas, on les retrouverait plus fréquemment. L'indépendance des couches d'avec la végétation de leur toit et de leur mur a dû inspirer ce système à M. Goldenberg.

Élie de Beaumont a supposé de petites îles recouvertes d'une riche végétation, s'enfonçant sous la mer, se recouvrant ensuite de limon, émergeant de nouveau, produisant une brillante végétation, et ainsi de suite; ce que Karsten avait dit autrement.

Élie de Beaumont a objecté à la formation par transport que, si la houille était provenue d'arbres flottés, les intervalles entre les branches et les racines seraient occupés par du sable et de l'argile, comme cela se voit à l'égard des arbres déposés par les fleuves à leur embouchure; tout en admettant que les lignites, très souvent très purs, ont été formés de bois charriés. — M. Gœppert s'est rallié à cette objection en expliquant que les plantes enterrées dans les schistes et les grès n'auraient pu se réunir en couches, par cela même que les éléments de ces roches se seraient déposés avec elles. Les développements qui précèdent nous dispensent de répondre à ces objections.

M. Briart a imaginé une formation de tourbe envahie par la mer qui déposait les sédiments apportés par les fleuves; puis la reprise du tourbage, et cela grâce à des oscillations alternatives en haut et en bas, que nous verrons ne s'être pas produites.

M. Mathet suppose que la formation s'est faite dans des golfes ou baies que recouvraient des tourbières, prétendant, à la suite de Pilla dont il adopte l'opinion, que les Maremmes en Toscane offrent une succession de faits de nature à le prouver.

Raisons alléguées. — Comme raisons générales à l'appui d'une formation *in positu*, on a invoqué l'existence de beaucoup de végétaux en place dans le terrain houiller, la présence des *Stigmaria* à la sole des couches, le fait que les combustibles formés comme la tourbe sont plus purs que ceux de charriage.

Dans cette hypothèse, il faut admettre, contrairement aux faits, que les végétaux ont poussé et se sont entassés les uns au-dessus des autres, car on sait que la plus haute futaie serait à peine capable de donner 1 centimètre de houille. Aussi peut-on s'étonner que de la Bèche ait trouvé de l'analogie entre les couches de houille et les forêts sous-marines du littoral des Iles-Britanniques; mais sa croyance à la formation sur place ne l'a pas empêché de faire observer que les couches sont divisées en bancs indiquant autant d'interruptions dans le dépôt de la matière charbonneuse, que la houille elle-même est marquée de couches de différents aspects et formée de veines parallèles aux plans de lits, que les Sigillaires, les *Lepidodendron*, y occupent la même position que dans les schistes.

On a supposé que la houille a pu être formée de végétaux transformés sur place, de la même manière qu'à Java, d'après Jungskuhn, la pourriture des bambous engendre une couche d'humus. Mais indépendamment de ce que la matière végétale est parfaitement stratifiée dans le charbon, l'humus est vite détruit dans les pays chauds par la décomposition, lorsqu'il n'est pas entraîné par le lavage des pluies dans des lagunes et recouvert ensuite de limon.

La formation sur place exige toujours une terre émergée ou presque émergée, de manière qu'après son enfoncement la végétation aurait dû attendre le comblement des aires de dépôt, avant de recommencer à former de la matière à houille, ce qui serait encore possible si les couches étaient peu nombreuses. Mais il y en a un grand nombre, elles sont formées de bancs indépendants; des veines de houille se pré-

sentent partout; aussi les partisans de la formation sur place ne se dissimulent-ils pas la difficulté qu'il y a de supposer autant d'affaissements interrompus.

Ils auraient eu plus de raison de supposer la formation par des marécages au fond de vallées lacustres, comme il y en a dans les Alpes bavaroises, encore que je n'y ai pas vu la tourbe alterner avec le sable ou l'argile.

PARTISANS DES DEUX MODES DE DÉPÔTS SUIVANT LES CAS.

WITHAM a distingué deux cas : celui où la houille est formée, sur place, de cryptogames, comme dans le grand bassin du nord de l'Angleterre, et celui où, comme en Écosse, elle lui a semblé devoir résulter de l'apport de bois dans des dépressions; cette dernière appréciation paraît venir de la fausse apparence microscopique du cannel-coal (voir plus haut).

NAUMANN a aussi eu l'idée d'une double origine de la houille, suivant les cas : origine limnique par transport pour les amas du centre de la France, et origine paralique par tourbage dans le nord.

M. GRUNER, partisan de la formation sur place, m'a dit admettre la formation par transport, pour les houilles schisteuses comme pour les schistes charbonneux. Or, ceux-ci sont entremêlés à certaines houilles, et beaucoup de couches se schistifient fréquemment, comme on le verra.

DAWSON a excepté de sa théorie, exposée ci-dessus en deux mots, un lit de houille de Cordaïtes (*) à sole dépourvue de racines, qui lui paraît avoir été formée de débris de plantes répandues et déposés au fond de l'eau, et il ne lui paraît pas improbable que quelques couches dénuées de *Stigmaria* et d'underclay, ainsi que les couches de charbon schisteux, ne se soient formées, comme les schistes charbon-

(*) *Acadian geology*, p. 196.

neux, par accumulation de feuilles et d'argile sous l'eau.

Avec NAUMANN, qui se rallie au transport, au moins pour toutes les couches qui ne reposent pas sur un lit de végétation, WILLIAMSON, HORNER, MURCHISON, n'ont pas été plus exclusifs dans l'expression de leur opinion.

M. BURAT, gagné au tourbage, attribue une origine double aux lames et lamelles de la houille : celles qui sont brillantes, très pures, résulteraient, selon lui, de végétaux herbacés entièrement décomposés sur place dans l'eau claire; elles alternent avec des filets ternes, argileux et feuilletés se rapprochant des schistes charbonneux et formés en partie par voie sédimentaire. Mais j'ai parfaitement constaté que les lames brillantes de la houille de Blanzy représentent des écorces épaisses, et l'analyse mécanique d'aucun combustible ne permet de le faire naître, lames par lames, alternativement, par voie de tourbage et par voie sédimentaire.

M. BINNEY, croyant au tourbage, a bien été forcé d'admettre que la présence, dans le cannel-coal, de coquilles et d'écailles de poissons, est une preuve qu'il s'est déposé sous l'eau.

Opinions que la houille s'est formée par transport.

Il est au moins curieux de voir que les opinions qui se sont tout d'abord produites, sur la formation de la houille, soient plus rapprochées de la vérité des faits constatés par nous que celles qui se sont imposées plus récemment avec l'appui des plus grandes autorités.

La première idée qui est venue aux géologues, sur l'origine de la houille, est qu'elle est formée d'arbres, branches et feuilles, charriés dans des lacs peu profonds. Il y a plus d'un siècle que SCHEUCHZER écrivait que la houille est due à des végétaux entassés à l'endroit ou non loin de l'en-

droit de leur croissance, et transformés sous pression à l'abri de l'air à une température élevée. Cette conjecture se rapproche de nos conclusions, et suppose que cet auteur avait déjà cherché à se rendre compte des choses par l'observation. STIEHLER a eu l'idée que la houille peut avoir résulté d'une puissante végétation terrestre plus ou moins entraînée et recouverte de limon. Aussitôt apparue, la théorie du tourbage a été combattue par VOGT.

DE STERNBERG, sans préciser sa pensée, a fait l'hypothèse que la houille provient de végétaux transportés périodiquement à la suite de débâcles occasionnées par les changements de saison, sur le littoral ou dans les bassins des îles. Le moyen et la cause ne sont pas ceux-là.

D'ORBIGNY (*Traité de Paléontologie*, p. 344) a imaginé que les oscillations du sol ont fait ravager les côtes par les eaux qui ont déposé ensuite, d'abord du grès, puis du schiste et enfin de la houille, ce qui expliquerait leur alternance.

M. TH. VIRLET a pensé que les couches de houille et de lignite proviennent de radeaux échoués; c'est aussi l'opinion de Naumann, en ce qui concerne les grandes couches des bassins limniques, leur puissance irrégulière ne pouvant, suivant lui, se comprendre dans l'hypothèse d'une formation sur place. Mais si l'on considère qu'il aurait fallu une couche de bois de 8 mètres pour 1 mètre de houille, on peut d'autant moins s'arrêter à cette supposition que la constitution des grandes couches décrites plus loin écarte l'idée d'une forte réduction d'épaisseur de la matière végétale entassée.

On a expliqué comme suit la formation par radeaux : des cours d'eaux amenaient dans des lacs simultanément toutes sortes de détritus minéraux et de débris végétaux ; ceux-ci, flottants, formaient une nappe de matières végétales, qui finissait par sombrer; dans l'intervalle se dépo-

saient du sable et du schiste, d'où sont résultées l'alternance et la répétition des couches.

M. Fayol, inventeur d'une nouvelle théorie de la formation lacustre en eau profonde, partant de l'hypothèse que les couches se sont déposées en pente, croit être parvenu, par des expériences imitées de celles de Constant Prévost, à expliquer la formation du bassin de Commentry par l'arrivage simultané de toutes sortes de débris, minéraux et végétaux, les sables se déposant après les galets, les schistes à la suite des sables et la houille en dernier lieu dans la partie la plus basse du lac, mais le tout en même temps ; à chaque assise convergente sur la couche il correspondrait une tranche inclinée de celle-ci allant du toit au mur. Les rapports des couches de houille avec les roches ne sont pas ceux-là, et au bout des dépôts stériles il n'y a pas de houille. L'auteur conclut très justement de la dispersion de la houille dans les roches qu'elle s'est déposée sous l'eau. Pour les besoins de sa théorie, il soutient que les arbres debout ne sont pas à leur endroit natal. Cependant à la tranchée de l'Espérance j'ai vu des racines complètes en place.

M. Durand, qui a observé à Doyet les mêmes faits que M. Fayol à Commentry, pense que la houille s'est formée au contraire sur des rivages de débris végétaux tombés sur place ou peu remaniés. Il explique la stratification des empreintes dans la houille par un laminage de la matière végétale après dépôt, ce qui est plus que douteux.

Les géologues anglais et américains, qui ont vu de près les couches de houille, sont arrivés à cette conclusion que leur formation n'est pas explicable par les théories mises en avant, et l'un d'eux, M. Jukes Beete, maître ès arts, d'après les faits observés par lui dans le Lancashire, s'élève contre la théorie du tourbage, la structure des couches ne s'accordant qu'avec le dépôt sous l'eau du charbon et des sédiments, tout convie à l'admettre : les veines de houille et de

grès alternantes, les filets de houille pure stratifiés régulièrement dans le grès, la division des couches de houille par des filets de schiste sur de grandes étendues, les différentes lames du charbon, les unes moins, les autres plus terreuses, leur séparation par des pellicules minérales ou joints argileux, etc. Toutes ces raisons vraies et solides cadrent avec les miennes.

Conséquences déduites des substances terreuses de la houille. — Les substances terreuses de la houille interposées ou intimement mélangées ont amené quelques chimistes à se prononcer pour le mode de formation de la houille par transport. Ces substances étant plus abondantes que celles que laisseraient les végétaux en se transformant en houille, et concordant d'ailleurs avec celles des schistes ou autres roches accompagnant ce combustible ou alternant avec lui, Taylor et Bischof ont conclu que l'un et l'autre se sont formés dans les mêmes circonstances ; pour Bischof (*), tout le terrain houiller, y compris la houille, est de formation physique uniforme au sein de l'eau.

Cependant Henry Rogers tient la faible quantité de matière terreuse mélangée à la houille très pure comme inconciliable avec sa formation par des substances végétales suspendues dans l'eau. A cela, M. Bischof réplique que la matière terreuse est la même dans le charbon pur que dans le charbon impur ; et Liebig, voyant que la cendre de tourbe ne contient, pour ainsi dire, pas d'argile comparativement à la cendre de houille, en a induit que l'argile, intimement mélangée aux débris végétaux qui ont formé celle-ci, s'est déposée en même temps qu'eux également sous l'eau.

On a dit que, seule, la théorie de la formation sur place rend compte des couches étendues peu puissantes, comme il en existe en Angleterre, et doit, en tout cas, s'appliquer

(*) *Die chemische und physikalische Geologie*, t. III, p. 802.

à une couche des Apalaches, connue sur 80 kilomètres. Seulement, comme les plantes houillères sont des arbres, les géologues qui l'admettent éprouvent une grande difficulté à concevoir comment ils ont pu être renversés, recouverts et produire souvent de très minces lits réguliers.

Nous verrons que les modifications des couches prouvent surabondamment leur origine par voie sédimentaire, que leurs intercalations schisteuses s'opposent absolument à ce que l'on admette pour celles-ci une formation sous l'eau et pour les planches de houille une formation aérienne. Le mélange des roches déposées par les eaux avec les lits, mises et veines de charbon pur, forme, dans quelques cas qui seront décrits, un ensemble dont toutes les parties ont inévitablement été formées dans la même circonstance.

La formation par transport ne saurait toujours être mise en doute pour les lits de houille formée de végétaux terrestres, qui, dans la Pensylvanie, sont entre du calcaire marin sans aucune roche interposée, ou pour des bancs d'anthracite qui, dans le Roannais, reposent directement sur le quartz lydien.

AUTRES OPINIONS SUR LA FORMATION DE LA HOUILLE.

Il reste encore à signaler, pour les écarter, comme tout à fait inadmissibles, quelques théories imaginaires qui trouvent des partisans, parce qu'elles expliquent simplement des choses très compliquées en elles-mêmes.

Opinions que la houille a une origine minérale.

Les éruptions volcaniques étant accompagnées de dégagements de carbures d'hydrogène d'origine minérale, et des gîtes de bitume, considérés comme résidus d'oxydation du pétrole, se rattachant aux mêmes phénomènes, il est venu,

il y longtemps, à l'esprit de WOLSTER, que le bitume minéral a formé la houille; dans ce cas, la présence du bitume dans les schistes, les blackbands, le boghead s'expliquerait facilement, dit M. Mallard. M. JUDYCKI, renouvelant une ancienne hypothèse d'après laquelle RAUMER, FUCHS, WAGNER ont supposé que la houille a été émise par des volcans à l'état d'une sorte de poix, pense que par des failles se sont dégagés des produits de condensation de matières carburées minérales à l'état d'une substance demi-fluide qui s'est déposée au fond des bassins, et il estime que les schistes sont des boues volcaniques; si c'était vrai, on trouverait de la houille dans le terrain primitif, et en tout cas, indépendamment de la nature des roches. Dans le même sens, STEFFENS, qui a admis pour le lignite une origine végétale, a imaginé que les empreintes de la houille ne s'y trouvent qu'accidentellement et n'ont pas plus contribué à la former que les débris de coquilles le calcaire; on a à ce sujet cité l'isolement du bois dans la houille comme une raison de croire qu'elle n'en est pas formée.

Je signalerai encore, pour montrer jusqu'où peut aller l'imagination, l'idée récente d'un physicien, que, à l'époque houillère, la constitution de l'atmosphère était telle qu'il devait fréquemment tomber des pluies d'hydrogènes carbonés qui gagnaient les bas-fonds et y formaient de la houille.

On pourrait, s'il en était besoin, opposer à la théorie de l'origine minérale, les considérations suivantes : le bitume ne se présente point en couches (*); mais sous forme d'amas irréguliers autour des centres d'émission; il a coulé *per descensum* dans les fentes suivant toutes les directions au mur des gîtes seulement. On le trouve indistinctement dans toutes les roches. Le grès houiller ne ressemble nulle-

(*) Coquand. *Bull. Soc. géol.*, 2e série, t. XXIV, p. 506, et t. XXV p. 25.

ment au grès asphaltique. Si des huiles se fussent déposées avec le limon fin, nul doute qu'il n'en resterait quelques traces incluses.

Il est cependant bien certain qu'il y a eu deux grandes émissions de pétrole aux époques dévonienne et pliocénique et il est à présumer que le bitume de certains calcaires a une origine minérale de même que le graphite sans hydrogène trouvé dans le gneiss, sous forme de filons, en Bohême et en Moravie, ou remplaçant une partie du mica dans certains micaschistes. Mais dans le terrain à pétrole, on ne trouve qu'accidentellement du bitume solide.

Si l'on en appelait au gisement du bitume à côté du lignite ou de la houille, on pourrait objecter que le fait est extrêmement rare et que par exemple en Alsace où il a été constaté on a reconnu que le bitume est en rapport avec des cassures, et est venu s'épandre par elles dans les roches appartenant à une formation de lignite.

Pour soutenir l'origine minérale de la houille, on a fait remarquer qu'elle ne renferme pas de potasse; cela est faux, les cendres peu fusibles de la houille de Kizell, dans l'Oural, par exemple, en contenant 0,867 p. 100; d'ailleurs la macération a pu l'enlever aux débris végétaux. On ajoute que la proportion de cendres de la houille très pure est en moins grande quantité que dans les végétaux; mais, outre que la macération enlève la partie soluble des matières terreuses, les débris végétaux ne renferment pas tous la même quantité de cendres; les feuilles de Gymnospermes, par exemple, en ont moins que celles d'Angiospermes; d'ailleurs j'ai analysé des écorces houillifiées de Cordaïtes qui ne m'ont donné que 0,50 p. 100 de cendres.

Nous achèverons la démonstration plus loin.

Opinions que la houille a des rapports avec la tourbe marine.

On sait que dans les anses et sur les côtes de la mer, en Hollande notamment, existe de la tourbe sous-marine, formée de *Fucus* et de *Zostera*.

Le docteur Mohr s'est emparé de ce fait (*), comme Parrot il y a trente ans, et prétend que la houille procède de *Fucus* et s'est formée dans la mer. La nature mucilagineuse de ces plantes, dit-il, explique l'absence de structure dans la houille et la grande proportion d'azote qui lui a fait attribuer pour partie une origine animale. C'est seulement comme cela, ajoute-t-il, que se peuvent comprendre les minces filets de houille étendus et réguliers et en même temps si purs. Cet auteur pense que des nappes de *Fucus* se développaient sur l'eau pendant que d'autres tombaient et pourrissaient au fond de la mer.

E. Robert, ayant vu certaines parties de la plage du Spitzberg rendues inabordables par ces plantes, qui y forment un dépôt à l'état de bouillie et auxquelles s'adjoignent quelques végétaux monocotylédones, avait, longtemps auparavant, eu l'idée que la houille de cette île est formée de *Fucus*.

Bischof, admettant le dépôt de la houille dans la mer, a été conduit à admettre l'intervention des algues comme fort probable.

Mais la formation houillère n'est pas une formation d'eau salée, aucun vestige de plantes marines ne se se révèle dans la houille (**), et c'est un fait que, lorsque le lignite gît dans des terrains marins, il est accompagné de marnes

(*) *Ueber die Entstehung der Steinkohlen* (*Zeit. d. Ver. d. ing.*, 1867, t. XI, p. 117).

(**) Les prétendus *Fucus* du terrain houiller de l'Oural sont tou simplement des radicelles de *Stigmaria*.

d'eau douce. Aussi, je ne suivrai pas M. ANDRÆ, qui s'est donné la peine de réfuter l'hypothèse purement gratuite du docteur Mohr, laquelle a cependant séduit, par sa simplicité, les ingénieurs qui en ont eu connaissance.

OTTO KUNTZ, dans une brochure récente, admettant que la houille s'est formée dans la mer et que les végétaux houillers s'y sont développés, en infère que la salure de la mer était faible et ne s'est développée progressivement qu'après, ce qui a fait se séparer les végétaux houillers en algues et plantes terrestres; alors il imagine que l'Océan était plein de végétaux, mais qu'il ne s'est formé de la houille que là où les sédiments venaient les recouvrir; dans la haute mer il se formait en même temps du calcaire. A cette théorie nouvelle, on n'a à répondre qu'une chose : que les végétaux houillers sont essentiellement terrestres, et que l'Océan était salé dès l'origine.

A propos de la formation par les algues, je présenterai les observations suivantes :

Les algues se décomposent aussi facilement que la viande, et M. Lesquereux croit qu'elles n'ont pu former de la houille. Elles sont très rarement préservées, à l'état fossile, même là où des empreintes terrestres sont parfaitement conservées. Elles se décomposent en une matière gélatineuse demi-fluide dans le limon aussi bien que dans l'eau, et leur forme disparaît généralement.

Cependant on ne peut pas affirmer qu'elles n'ont pas formé quelques veines de charbon dans les terrains marins.

En Bohême existe, dans le silurien supérieur, un petit lit de bitume qui est considéré comme formé des algues qui le surmontent. Mais ces prétendues algues, que j'ai vues à Vienne, sont bien charbonneuses, ont des formes bien nettes et régulières pour des algues. Toutefois, des algues très rameuses, conservées dans des argiles du terrain dévonien

de l'Oural, me paraissent avoir été susceptibles de former un peu de houille.

Par cet exposé rapide des opinions et théories exprimées et mises en avant sur l'origine de la houille, on voit l'importance qu'il y avait à asseoir les idées sur des faits bien observés. C'est ce qui m'a fait donner tant de développement à certains chapitres de ce mémoire.

II

PARTIE PHYSIQUE ET CHIMIQUE.

Après avoir étudié la houille plus spécialement au point de vue botanique, et avant de passer à l'examen des roches et du terrain houiller, nous avons à rechercher, et c'est ici la place de le faire, comment les débris végétaux se sont conservés et se sont convertis en charbon minéral.

Mais quelle voie suivre pour arriver à connaître le processus de cette conversion, le comment et les conditions du phénomène?

Il n'y a que deux méthodes : 1° la méthode expérimentale; 2° celle qu'a suivie la nature durant les périodes géologiques.

La première méthode (*) a conduit à des résultats dou-

(*) Tout le monde connaît l'expérience de Cagniard-Latour; je ne rappellerai pas celles de MM. Baroulier et Petzholdt, qui ont également employé la voie sèche.

Par la voie humide, Gœppert a obtenu de la houille en peu de temps en mettant du bois dans de l'eau renfermant un peu de sulfate de fer, auquel il attribue un rôle très actif dans la conversion; mais il n'a pas fait attention que ce sel ne produit pas de C^2H^4 avec CO^2 qui se dégage. M. Geinitz pense que l'acide sulfu-

teux, parce que, indépendamment de ce que les mêmes composés organiques peuvent être obtenus de manières différentes, le temps, en chimie organique, joue un grand rôle dans les réactions produites par des affinités si faibles entre substances si mobiles, qu'elles ne donnent le même composé défini que dans des conditions étroitement identiques; toutefois la pression peut remplacer le temps, *et vice versa*, la chaleur peut suppléer au temps et à la pression. Mais la méthode expérimentale ne prouvera rien tant qu'on ne connaîtra pas bien l'objet et les conditions du phénomène, et tant qu'on ne s'y conformera pas.

Heureusement on peut suppléer à la deuxième méthode par l'analogie, en interprétant tous les produits de la conversion.

Dans tous les cas, *la méthode expérimentale doit changer d'objet.* Jusqu'à présent, en effet, à part les recherches de M. Frémy, les expériences synthétiques n'ont porté que sur le bois. Comme la houille a été principalement formée d'écorces et de feuilles plus ou moins altérées, et de parcelles et bouillie végétales, les recherches à faire devront changer d'objet ; il faudra s'attacher à saisir les transformations qui accompagnent la pourriture sous-aqueuse des restes végétaux chlorophylliens et ulmiques dans l'état où ils ont été soumis à la fossilisation.

Nous allons tâcher, en interprétant les différents caractères minéralogiques, les qualités physiques et les propriétés chimiques de la houille, de déterminer les termes et les conditions du problème.

Mais examinons d'abord les empreintes qui se présentent

---

rique libre a aidé à la transformation, en abandonnant de l'oxygène; mais cet acide qui dissout la cellulose donne HO et CO^2 sans hydrogène carboné.

M. Daubrée a obtenu de meilleurs résultats en employant la pression et l'eau surchauffée.

dans la houille comme dans les roches; elles doivent nous fixer sur plusieurs points importants de la transformation.

La houille étant formée en grande partie de substances ulmiques, nous devrons ensuite comparer l'état fossile de celles-ci au charbon des empreintes.

SECTION I

ÉTATS FOSSILES DES DÉBRIS DE PLANTES ISOLÉS DANS LES ROCHES.

Une fois échappés aux influences destructives extérieures et seulement après avoir été enfouis sous le limon, les débris de plantes nous ont été conservés; ils sont parvenus jusqu'à nous, après avoir éprouvé diverses transformations, sur lesquelles leurs états fossiles doivent nous renseigner.

Destruction après dépôt et enfouissement. — La destruction de la matière végétale ne s'est pas toujours arrêtée après le dépôt et l'enfouissement. Il est des cas où, après, elle a été assez importante; c'est lorsque l'eau a pu circuler dans les roches; alors l'oxygène qu'elle contenait a brûlé lentement les substances organiques.

C'est ainsi que, dans le grès bigarré des Vosges, les empreintes ont perdu toute substance organique et sont représentées par un revêtement ocreux; il en est de même dans les grès permiens de Russie, non seulement des empreintes, mais encore des parcelles végétales, toutefois à l'exception du fusain. Dans les sables à buccins d'Heyrieu (Isère), les débris végétaux sont entièrement brûlés. Dans les grès houillers quartzeux très perméables de l'Oural, il ne reste que la forme des plantes. La substance végétale a totalement disparu des empreintes de la grauwacke de la Basse-Loire, et elle a été remplacée par une sorte de talc dans les schistes satinés des Alpes et de l'Anjou.

C'est surtout dans les terrains récents que les empreintes ont perdu leur substance organique.

Dans le terrain houiller, il n'en est ainsi que dans les roches grises argileuses, où la décomposition a souvent réduit les feuilles et écorces aux épidermes et cuticules. Dans les autres roches, les tissus chlorophylliens ont été convertis en houille, sans destruction de matière organique.

Les schistes carburés, formés d'un limon auquel se sont mélangées des substances ulmiques, ont préservé mieux que les autres roches les tissus de la destruction souterraine. C'est ainsi que, dans du boghead, j'ai trouvé des *Stigmaria* en place, représentés par une lame de houille de 4 à 5 millimètres d'épaisseur, que l'on voit, au microscope, formée de tous les tissus jusqu'aux vaisseaux, qui se reconnaissent parfaitement, tandis qu'il ne reste généralement de cette plante, même dans l'underclay, qu'un mince épiderme et en général l'étui médullaire.

Les sédiments houillers contenaient généralement en eux des substances minérales dissoutes qui ont préservé les empreintes en cimentant les roches. — La conservation des empreintes végétales implique une faible circulation d'eau dans les roches houillères qui ont dû être promptement cimentées. Nous verrons en effet que la cimentation avait souvent lieu pendant le dépôt même, soit par le carbonate des houillères, qui nous a conservé dans le mannifer le relief des empreintes, soit par la silice libre ou des silicates alcalins qui ont été facilement décomposés par les acides faibles des végétaux qu'ils ont pétrifiés presque toujours un peu dans les roches dures où les écorces ont assez souvent conservé quelques traces d'organisation.

Or, dans le terrain houiller, l'écorce étant généralement convertie en houille, et le bois, non moins ordinairement, en pierre, cela suppose des eaux filtrantes un peu minérales, car sans cela il n'y a pas de raison pour que le bois

ne soit devenu couramment de la houille, comme dans le terrain de lignite qui est argileux et peu cimenté. On connaît bien, dans les terrains plus récents, des tiges fossilisées comme dans le terrain houiller, ayant le bois pétrifié et l'écorce houillifiée; mais ce qui caractérise le fait dans le terrain houiller, c'est sa généralité même.

Le peu de compression éprouvée par certains débris pétrifiés rapidement par le carbonate lithoïde indique que les eaux sédimenteuses devaient parfois être assez chargées de ce minéral en dissolution, lequel a dû fixer rapidement, en tous cas, le tissu cellulo-vasculaire non comprimé des *Medullosa;* la précipitation du carbonate de fer en nodules s'est en effet effectuée pendant le dépôt même; nous le verrons plus loin.

Cependant, la macération dans le limon a contribué à généraliser la décomposition interne des tiges dont quelques-unes n'ont conservé tout ou partie de leur bois que dans les roches les plus minéralisées. Les radicelles en place ne sont en effet presque toujours vides que par l'effet d'une action dissolvante des eaux souterraines. Mais cette action a été légère, car elle a généralement respecté les débris végétaux les plus délicats dans les roches comme dans le charbon.

Modes de conservation des restes végétaux dans les différentes roches.

Les observations précédentes nous amènent à examiner de près les modes de conservation des débris de plantes suivant les roches.

1° *Dans les roches ordinaires.* — Dans les roches ordinaires, les feuilles et écorces sont transformées, par une sorte de fossilisation épigénique, en lamelles et

lames de houille claire. La texture superficielle est presque toujours discernable. Mais, en général, on ne distingue plus rien de la structure interne des feuilles en général. Par les empreintes du Mont-Pelé, près Autun, on voit bien que le tissu des feuilles a été transformé en une houille amorphe, et qu'il ne reste d'intacte que la cuticule. Mais en général la cuticule a été transformée en houille avec les tissus adjacents. Dans les lames de provenance corticale, une apparence de structure a souvent persisté dans l'intérieur du charbon.

Ce n'est que dans les grès et schistes durs que les tiges ligneuses ont leur écorce transformée en houille et leur bois conservé pétrifié.

2° *Dans les roches argileuses tendres.* — Dans les roches argileuses tendres, les empreintes sont souvent réduites aux téguments externes sous forme de membranes rousses; — au toit de la 14e de la Porchère, à la carrière de Layats (Firminy), au puits Adrienne (Malafolie), chez Guichard à Côte-Chaude, chez Marcon à Saint-Priest, etc., j'ai trouvé dans des schistes argileux tendres des *Odontopteris*, *Alethopteris* et autres espèces à l'état d'empreintes brunes ou noirâtres encore flexibles. Au mur de la couche des Littes, en particulier, il y a des *Odontopteris minor*, *Carpolithes disciformis*, *Poa-cordaïtes* réduits à des membranes épidermiques jaunâtres.

Dans les mêmes roches, les empreintes corticales sont brunes, du moins à la surface, et cette teinte est celle de la cuticule que l'on trouve souvent isolée sous forme de membranes brunes. Ce mode de conservation est fréquent en Haute-Silésie, dans les schistes gris tendres. On le trouve partout dans les roches argileuses, à Perrecy (Saône-et-Loire), à Cugneo (Asturies), etc. Dans certains schistes argileux à texture serrée, comme les schistes bitumineux de l'Autunois, j'ai trouvé des *Pecopteris*, *Cordaïtes* et écorces de couleur noirâtre, élastiques, et l'élasticité

m'a paru diminuer beaucoup, par l'exposition à l'air, en même temps que la matière charbonneuse tendait à se gercer; j'ai vu des feuilles molles du terrain tertiaire devenir cassantes : l'argile noire de Meudon renferme des débris végétaux qui se gercent en se desséchant.

Les macrospores sont généralement converties, dans la houille comme dans les argiles schisteuses, en une substance jaunâtre qui rappelle parfaitement la cire, par exemple dans le banc moyen de la couche de Dombrowa.

La conservation des débris de plantes dans les états sus-indiqués, est un fait très commun.

Cependant M. Gœppert avait signalé (*) comme un fait extraordinaire, à Zwickau, en Haute-Silésie, des feuilles brunes et flexibles, en quelque sorte desséchées et ayant gardé leurs stomates.

3° ***Dans les roches dures plus ou moins fortement cimentées ou minéralisantes.*** — Dans les roches cimentées ou ayant contenu un liquide lapidifiant, les tissus des feuilles et écorces ont persisté en partie. Ainsi, dans les schistes durs du puits Moïse, à Rive-de-Gier, les Cordaïtes ont leurs tissus internes déterminables. Le *Lomatofloyos crassicaulis* (**) conservé dans une argilithe dont les tissus ont attiré la silice, a ses écailles si bien conservées, à l'état d'une matière brune ressemblant à du lignite, que Corda en a pu non seulement analyser la structure, mais constater le contenu de certaines cellules en granules de fécule, et a même reconnu, à une légère coloration verdâtre, la présence d'un peu de chlorophylle.

Dans ce cas, comme dans quelques fossiles du carbonate des houillères, les parois cellulaires décollées et arrondies par la pourriture sont charbonnées, et les vides et intervalles, remplis d'une matière brune ou sombre plus ou

(*) *Die Gattungen der fossilen Pflanzen*, p. 5. — *Ueber d. foss. Flora d. sog. Uebergangsgebirges*, p. 156.

(**) *Beiträge zur Flora der Vorwelt*, p. 17.

moins translucide; ce sont là les signes d'une pétrification par imprégnation.

4° *Dans le carbonate des houillères.* — Dans le carbonate des houillères j'ai trouvé des tissus intacts à Firminy, à la Porchère, à l'Éparre, etc. A Saint-Étienne il renferme souvent du bois spongieux demi-charbonné de *Médullosa*, avec tous les tissus bien reconnaissables. En Bohême, Corda y a découvert des *Rachiopteris* dont les cellules, d'un brun jaunâtre, élastiques, avaient presque leur couleur naturelle.

Mais, dans la plupart des cas, les empreintes des feuilles et écorces y sont très mal conservées, et il est à remarquer que quand elles ont été pétrifiées dans le premier état de pourriture, elles ont une couleur brunâtre. Il ne paraît y avoir que les tissus jeunes ou tendres qui soient bien conservés dans le carbonate des houillères.

Je ne m'arrêterai pas au cas de fossilisation si remarquable des débris végétaux dans la silice (*) ou le calcaire, parce que ce cas exceptionnel intéresse peu nos études présentes.

Je signalerai seulement, au sujet de la pyrite, qu'elle ne s'est substituée qu'aux tissus superficiels des écorces, et qu'elle n'a métallisé que les tissus vasculaires; elle a donc été apportée par une eau minéralisante.

État fossile ordinaire des feuilles et écorces.

Dans les circonstances ordinaires de gisement, c'est-à-dire presque toujours, les feuilles sont représentées par une lamelle sensible de houille indiquant que ces organes étaient coriaces, moins membraneux en tout cas que les feuilles d'angiospermes qui se détruisent en macérant. Ce

(*) Voir Bischof (*Lehrbuch d. chem. u. physik. Geol.*, I, 794). — Renault (*Recherches sur la struct.*, etc., 5). — Gœppert (*Genres de végétaux fossiles*, préface), etc.

n'est que dans les schistes micacés ou argileux, où la matière organique est parfois tellement diminuée, que des fougères délicates sont presque réduites aux linéaments nerveux.

Les écorces transformées en lames de houille ne sont presque jamais pétrifiées, même dans les roches fortement cimentées; la silice ne les a même pas conservées, évidemment parce qu'elle ne les a pu pénétrer. Les cas, comme ceux cités par M. Gœppert (*), d'écorces partie houillifiées, partie pétrifiées, sont des plus rares.

Cependant la conversion en houille a été moins désastreuse pour la structure des écorces que cela ne paraît de prime abord.

Ainsi les écorces de Cordaïtes dont j'ai signalé ailleurs (**) les caractères fort curieux, laissent apparaître, toujours quelque part, leur nature fibreuse, soit à la surface des tubes de houille représentant ces écorces, soit aux divisions concentriques, soit même dans les cassures parallèles. Il est à remarquer que le tissu apparent n'est pas écrasé et que les éléments ne paraissent guère déformés comme par une réduction de volume notable.

La partie ligneuse de ces écorces, qui forment une proportion importante de certains morceaux de houille, est, au contraire, formée de fibres vides et écrasées, à côté de l'autre partie pénétrée de tissus circumvecteurs, à cellules peu discernables, mais non aplaties, dans la masse noire.

On distingue presque toujours aussi facilement la structure fibreuse et subéreuse des écorces de Sigillaires, quelquefois dans toute l'épaisseur de la lame charbonneuse, et l'on remarque encore mieux que les éléments anatomiques n'ont pas été déprimés par la fossilisation. Ces écorces étaient si dures et en même temps si denses,

(*) *Die fossilen Farrnkräuter.*
(**) *Flore carb.*, p. 254.

que les sceaux foliaires ont résisté au contact des grès.

L'enveloppe charbonneuse des *Psaroniocaulon* laisse souvent apercevoir la nature du tissu conjonctif existant entre les radicules intracorticales qui forment en quelque façon ces enveloppes. Quelques écorces d'*Arthropitus* laissent voir, dans toute l'épaisseur de la couche charbonneuse, de très nombreux filets blanchâtres représentant des tubes gommeux entourés de fibres rayées; les tubes gommeux ne sont pas déformés ni les tissus dérangés.

État fossile ordinaire du bois.

Dans les circonstances ordinaires de gisement, on trouve le bois fossile dans deux états plus différents en apparence qu'en réalité : celui de bois plus ou moins pétrifié, et celui que nous avons déjà examiné, au point de vue de la désagrégation, de bois charbonné.

Le tissu vasculaire étant généralement peu incrusté de lignine par rapport à l'écorce, on conçoit qu'il se soit laissé pénétrer de substances terreuses originairement dissoutes, et qu'il puisse être pétrifié à côté de l'écorce houillifiée; c'est ce qui est arrivé ordinairement, avons-nous déjà dit, dans le terrain houiller.

Bois pétrifié. — Dans les grès et schistes, la fossilisation du bois n'est souvent pas uniforme, une partie sur la coupe peut être houillifiée avec l'écorce, et l'autre pétrifiée, et l'on remarque que la différence se poursuit en longueur, comme si le tissu vasculaire eût conduit les sucs minéraux. Cette inégalité de fossilisation dans le sens transversal a lieu généralement dans les roches où ces sucs ont été peu abondants. Dans les roches où a circulé le bicarbonate de fer, la pétrification du bois est complète et uniforme sous l'écorce changée en houille.

Bois bituminisé. — Dans le terrain houiller, le bois est rarement tout converti en houille, et, dans ce cas,

celle-ci est plus ou moins pierreuse et découpée par un fin réseau de veinules spathiques dénotant une réduction de volume du bois plus grande que celle de l'écorce. Exceptionnellement, les tiges ligneuses sont transformées en houille pure et claire.

Je dois faire une réserve en ce qui regarde les *Calamodendron* : la forte enveloppe charbonneuse qui entoure leur noyau médullaire présente non rarement des tissus ligneux que l'on voit au microscope s'être transformés en houille comme certains bois en lignite ; mais cette exception tient à la nature très dense des tissus de ces plantes fort remarquables.

A part ce cas, on compte les exemples comme ceux-ci : 1° souche au Cros, représentée par 0m,05 à 0m,10 de houille entourant un axe de grès, faiblement ridé en travers, à la place de la moelle; 2° pied de *Cordaïtes*, à Commentry, composé, du dehors en dedans, d'une enveloppe de houille corticale, d'une zone ligneuse mi-houillifiée, peu distincte de l'écorce, quoique fibreuse et un peu pyriteuse.

Toutefois, et quoiqu'on ne voie pas souvent le bois de *Dadoxylon* passer à la houille, un certain nombre d'*Artisia* sont entourés d'une épaisse couche de charbon provenant visiblement d'une partie du bois indistinctement fossilisée avec l'étui médullaire.

Bois fossile dans la houille. — Dans la houille, et surtout dans celle des couches qui ont le caractère d'amas, le bois fossile non charbonné est sous forme de bûches ou de lambeaux irréguliers amenés avec les autres débris de plantes; ils sont fossilisés très irrégulièrement ; la masse est en partie pétrifiée et en parties houillifiée, des bandes charbonneuses la divisent; les nœuds ligneux de Cordaïtes réunissent ce qu'il y a de plus capricieux comme contour et comme composition, et défient toute description, toute représentation, et l'on ne doit pas trop s'en étonner, lorsqu'on songe que la fossilisation est facteur de termes nom-

breux et que la marche du phénomène a dépendu du degré de décomposition du bois, de la nature et de l'action des substances minérales et des circonstances variées de milieu et de contact où s'est produite la transformation.

Nature du fusain.

On a trop séparé le fusain du bois fossile ou du lignite xyloïde, de nombreux intermédiaires relient entre eux les termes extrêmes de ces deux états du bois, comme du reste chacun d'eux à la houille.

Le bois fossile de la houille passe dans quelques parties au fusain. Des plaquettes de fusain isolées passent aussi à la houille en dedans de leur épaisseur. Une houille terne du centre de la Russie offre sur la tranche des traits brillants correspondant à des parcelles de bois dont la surface seule a l'aspect du fusain, l'intérieur étant transformé en houille.

J'ai déjà dit un mot de deux sortes de fusain, d'un fusain sec, susceptible de se laisser mouiller, et d'un fusain bitumineux tirant sur la houille. Celui-ci forme, en Haute-Silésie, de la houille terne, et à Niwka (Pologne russe), du charbon compact formé d'une pâte de bois dans laquelle celui-ci ressort néanmoins par endroits comme du fusain. A Comberigole, à Ronchamp, du fusain tranche peu dans la houille; dans la couche de la Barge, c'est du bois pourri; dans certain charbon cru, il marque peu sur la tranche.

Le fusain est peu minéralisé, et le plus souvent c'est par le carbonate de fer; à l'inverse du bois, il n'est presque jamais pyriteux.

Ce n'est pas seulement le bois qui a pris l'aspect du fusain, l'écorce l'emprunte aussi; M. Dawson a reconnu que c'est l'état ordinaire de l'écorce secondaire des Sigillaires. Des écorces de *Cordaïtes* présentent des divisions de fusain entre les lames de houille concentriques. Dans

le Roannais, quelques portions d'écorce ont le reflet du fusain, et par le fait, le fusain de l'anthracite m'a paru formé d'écorces subéreuses de *Lepidodendron*.

Dans le lignite, des débris herbacés ont même pris l'apparence du fusain, et il m'a semblé que certains débris desséchés de tourbe de marais seraient capables d'affecter cet état fossile.

Les bois et tissus, plus desséchés que d'ordinaire, ont formé le fusain.

Aussi m'est-il venu à l'esprit que le fusain proprement dit peut bien n'être que du bois fortement desséché qui, après enfouissement, n'a plus été apte à subir la transformation en houille des autres débris végétaux.

Karsten, en considérant que dans le fusain le carbone varie de 78,09 à 95,74 p. 100, que ce bois fossile contient souvent moins de carbone que des houilles maigres anthraciteuses, et que l'état pulvérulent de son coke signifie que chez lui l'oxygène l'emporte de beaucoup sur l'hydrogène, a exprimé l'idée que le fusain est dû au jeu des mêmes influences que la houille, s'étant exercé sur les mêmes parties qui s'avançaient plus ou moins rapidement vers la carbonisation.

Le fait est que le fusain se lie à la houille par toutes sortes de transitions. De quelques analyses faites dans la Ruhr (*), il résulte qu'il est seulement plus riche en carbone que la houille où il se trouve. J'ai distillé du fusain ordinaire qui m'a donné 10 p. 100 de gaz brûlant avec une flamme blanche, et Karsten a obtenu, d'un fusain sans doute plus bitumineux, une forte flamme avec une odeur bitumineuse : que l'on distille le fusain qui, en

(*) La houille à gaz de la couche Mathilde de la mine Hannibal renferme $C = 85{,}760$, $H = 5{,}12$ et $O + Az = 9{,}120$, et le fusain contenu : $C = 88{,}662$, $H = 4{,}857$ et $O + Az = 6{,}481$.

Haute-Silésie, forme de la houille mate, et l'on aura les mêmes produits que ceux de la houille.

On pourrait croire que le fusain a emprunté son bitume à la houille environnante, d'autant plus que, débarrassé de ce bitume par le traitement à l'acide azotique, Dawson a vu brûler sans flamme ses fibres intactes et transparentes. A cela on peut d'abord objecter que le fusain gisant dans les roches a la même composition que celui de la houille. J'ajouterai, comme faits contraires à l'imprégnation, que dans un charbon très compact de Commentry, on découvre des empreintes de fougères, de *Sphenophyllum* à l'état d'un fusain sec.

Pour moi, j'en conclus que le bitume contenu dans le fusain est né des tissus de celui-ci et par suite que ces derniers différaient primitivement de ceux changés en houille.

Et je considère l'état fossile en question comme lié au desséchement des débris de bois avant leur dépôt et par suite avant toute action métamorphique.

La transformation en houille a commencé par les produits amylacés et s'est d'abord attaquée aux tissus cellulaires et aux écorces.

Les cellules des rayons médullaires du lignite xyloïde sont représentées par des points noirs contigus provenant du contenu desdites cellules; les jeunes tissus conservés dans les quartz de Grand'Croix se présentent de la même manière, tandis que les vieux tissus forment un réseau de lignes brunes au milieu d'une silice colorée en jaune. Les tubes gommeux sont pleins de houille.

D'où il suit que les matières amylacées, fécule, amidon, et les gommes et résines, ont formé de la houille avant la lignine. M. Fliche a reconnu que l'amidon du bois enterré se transforme rapidement en acides humiques.

Les tissus cellulaires se sont les premiers modifiés; dans

un sol humide, c'est en effet le parenchyme des feuilles enterrées qui noircit en premier lieu.

Dans le fond des tourbières, les écorces sont déjà noires quand le bois est encore brun. Il en est de même dans la formation argileuse du lignite.

C'est peut-être le retard qu'a mis le bois à se transformer qui est en bonne partie cause qu'il est si ordinairement pétrifié dans les roches houillères ordinaires.

Les débris de plantes fossiles ont passé par l'état plastique et y sont restés longtemps dans les roches ordinaires.

Il est visible que l'écorce et le bois ont passé par l'état plastique. Dans les roches ordinaires, le bois a dû rester longtemps mou avant d'être pétrifié par attraction des substances minérales; la compression en a déplacé les coins les uns sur les autres; dans un *Arthropitus*, tout le bois a été rejeté de côté (*fig*. 9,*a*, Pl.IV); un cas fréquent est celui où, comme par une sorte de laminage, les coins de bois latéraux ont pris de l'extension par rapport aux autres (*fig*. 9, *b*); le bois de *Calamodendron* a souvent des lames repliées en zigzags. — Le bois a été déplacé plus facilement que l'écorce, beaucoup plus dense et par cela même moins disposée à couler.

Cependant, l'écorce est restée plastique plus longtemps encore que le bois, attendu qu'il y a des tiges de conifères à tissu ligneux, glissé et brisé par un tassement qui n'a pas rompu la continuité de l'écorce. Dans les Cordaïtes, la substance corticale a dû être assez molle, car elle a subi de forts déplacements, comme l'indique une coupe (*fig*. 9, *c*).

Dans tous les cas, la plupart des tiges pétrifiées dans les roches ordinaires, ayant leurs tissus très tourmentés par la pression, ont dû être maintenues longtemps ramollies avant leur solidification. Le charbon des arbres debout est

resté plastique jusqu'après le tassement des roches. Dans les Alpes, des fougères déformées par étirement sont restées souples pendant une très longue période de temps. De même les Cordaïtes, dont les stries forment souvent des replis.

Le degré de transformation des débris végétaux n'est pas le même dans les différentes roches; elle est beaucoup moins avancée dans les schistes gris argileux, où la substance végétale est parfois restée à un état voisin du Dopplérite de Schrotter.

D'après ce qui précède, nous ne devons pas trop nous étonner de découvrir certains débris fossiles encore souples.

Nous en avons cité précédemment (page 230) des exemples remarquables que l'on peut jusqu'à un certain point mettre en parallèle avec le Dopplérite, d'après les caractères suivants que lui assigne M. F.-J. Kauffmann (*).

« Substance gélatineuse, homogène, élastique, ne con-
« tenant presque pas trace de structure végétale; pre-
« nant, après avoir, par dessiccation à l'air, perdu 20 à
« 80 p. 100 d'eau, la cassure brillante et conchoïdale de
« la houille brune ». Desséché, il a perdu son hygroscopicité et ne se ramollit plus dans l'eau.

C'est lui qui forme la partie de la tourbe et du lignite imparfait, soluble dans la potasse; j'ajouterai encore que c'est le premier degré de la conversion charbonneuse par voie humide à température et pression ordinaires.

Rien d'étrange, en effet, à ce que quelques débris fossiles houillers soient restés dans un état voisin du Dopplérite,

(*) *Ueber den Dopplerit von Obbürgen, und ueber das Verhältniss des Dopplerit zu Torf und mineralischen Kohle.*

lorsque l'on voit, à Montrambert, des schistes argileux restés brunis par des substances ulmiques.

D'autres preuves d'un faible métamorphisme nous sont fournies par les bois pétrifiés dans les roches ordinaires : la paroi des fibres en est restée jaune. A la Malafolie, dans le charbon à gaz, des écorces de Cordaïtes sont brunes comme certains lignites.

Il n'y a pas transfusion de la substance des empreintes au contact des roches, et la dissémination de la matière charbonneuse exige qu'elle ait été amenée avec les sédiments, soit dissoute, soit plutôt sous forme de substances ulmiques mélangées.

A Beaubrun, à Montchanin, surtout à Sainte-Foy-l'Argentière, on trouve du gore ou schiste compact avec des empreintes qui se détachent encore sur la tranche par des traits de houille spéculaire, mais non sur le plat, tant leur surface est adhérente à la roche; mais en général les empreintes sont nettement séparées et n'ont pas même bruni ou noirci à leur contact les schistes gris où elles abondent; il n'y a donc pas eu filtration de la substance végétale.

Il en a été de même dans la houille, ce que l'on voit très bien lorsque, comme à la Malafolie (Loire), au Quartier-Gaillard, à Kladno (Bohême), ce combustible est divisé par des lits d'argile blanche.

Ce n'est pas comme dans la tourbe ou comme dans le lignite xyloïde de formation mixte : un bitume brun résultant de la décomposition végétale n'a pas imbibé toutes les parties par un déplacement de matière ulmique formée de la pourriture humide des plantes mortes et entassées sur place.

La matière charbonneuse est répandue largement dans les roches à un état délayé qui a fait dire à M. Daw-

son (*) que les schistes houillers noirs résultent d'une boue tourbeuse.

Sa dissémination dans les roches fines dénote qu'elle a été amenée mélangée au limon, plutôt sous forme de bouillie que sous celle d'une solution, car le schiste n'en a pas généralement été pénétrée de la même manière que l'argile sombre du fond de certains étangs, qui est imprégnée de matières végétales très décomposées.

Les substances ulmiques ont formé une houille analogue à celle qui résulte de la transformation des tissus végétaux.

Nous avons vu que la houille est en grande partie formée de substances ulmiques, mais pas exclusivement comme M. Frémy a été conduit à le dire d'après ses belles expériences chimiques. C'est concurremment avec des écorces, feuilles et bois, qui, ayant pourri dans les marécages avant le transport par les eaux, ont été déposés dans un état qui ne devait pas être sensiblement différent de celui des substances ulmiques.

J'ai bien dit que dans la houille les débris chlorophylliens ressortent en lames et lamelles brillantes. Mais en Haute-Silésie, ils ne se distinguent pas toujours sur la tranche d'avec la houille amorphe. En Westphalie, dans un cannel-coal, la substance des *Stigmaria* se confond avec la masse.

J'ai du reste signalé de la houille terne formée indistinctement de bouillie ligneuse à peine reconnaissable et d'humus. Dans certains lignites, l'humus et les débris végétaux sont déjà transformés en une même substance brune par une transformation dans les mêmes conditions de restes organiques qui doivent tendre à se rapprocher à la longue.

(*) *Acadian geology*, p. 239.

Toutefois, dans les charbons secs à longue flamme, une certaine différence se remarque entre les lames claires et les lames ternes ; mais dans les charbons gras, elles ont sensiblement la même composition chimique.

Les tissus chlorophylliens, très denses et carburés, n'ont pas éprouvé une réduction de volume sensible.

La conservation constante des écorces minces ou épaisses, et des feuilles, leur métamorphose en houille pure, tout les montre comme ayant dû être très denses, très carburées, avec des fibres sans pores, des contenus résineux ou riches en matières amylacées (manquant dans le vrai bois), comme, dans les fougères, l'écorce si dure et l'étui parenchymateux corné d'une densité de 1,30; dans ce cas les fibres libériennes, ne s'élargissant pas, se sont incrustées jusqu'à disparition complète du creux central, et le parenchyme cortical s'est épaissi plus fortement que celui du bois.

Et, en effet, les préparations faites dans les parties les plus noires des débris conservés dans les quartz de Grand'Croix montrent des utricules presque toujours pleins de ligneux ou matière organique incrustante.

Aussi la forme ou dimension des éléments anatomiques corticaux a persisté, malgré leur transformation en houille et le ramollissement de la masse.

D'ailleurs la plupart des écorces portent, à la surface, des dessins si précis et si constants, quoique très délicats, notamment les Sigillaires, que par là elles montrent n'avoir pu éprouver une condensation notable par l'action réductrice de la conversion en houille ; et cela n'a rien qui doive surprendre, la lignine qui a rempli les tissus ayant une densité qui peut aller à 1,50 et contenant 53 p. 100 de carbone.

Aussi les écorces les plus minces, comme les plus

épaisses, ont-elles opposé une résistance d'inertie complète à la désorganisation qui a emporté tout l'intérieur des tiges : n'ayant pas été détruites comme le bois, elles devaient être incorruptibles, et n'étant presque jamais pétrifiées, elles devaient être rebelles à l'infiltration.

Aussi ont-elles donné isolément de la houille très pure.

Les couches de houille n'ont pas éprouvé une condensation de plus de la moitié de leur épaisseur primitive.

L'examen attentif de la houille, et surtout des couches de houille, ne permet pas, et l'on en jugera plus loin, d'admettre qu'elles aient éprouvé une forte réduction en épaisseur par la compression des roches, unie à la conversion des débris végétaux.

Cela s'explique par le concours important d'écorces si denses ou si épaisses qu'elles ont donné : celles des Cordaïtes, des lames de houille de $0^{m},02$ à $0^{m},04$ d'autant plus invraisemblables qu'elles ne sont peut-être pas complètes; celles du *Calamodendron*, de $0^{m},005$ à $0^{m},01$; les *Aulacopteris*, plusieurs millimètres, et les feuilles de Cordaïtes, encore une lamelle sensible de houille.

Avec cela que, par le dépôt très lent des matières végétales, elles se tassaient et se cimentaient même en partie au fur et à mesure de l'accumulation, et que les matières avaient au préalable déjà subi une pourriture humide qui les avait peut-être même déjà un peu réduites en volume.

La nature et l'état des débris formant la houille répondent à l'objection contre l'origine par transport, tirée des calculs d'Elie de Beaumont (*), ces calculs ayant été faits sur l'hypothèse de la formation de la houille par bois flottés séparés par des vides, ce qui aurait entraîné la réduction en

(*) *Comptes rendus de l'Académie*, 1842, p. 205.

volume de 1 à 0,225. Mais la matière végétale déposée ne laissait pas de vides, et une pareille condensation aurait causé dans les empreintes de la houille des déformations inégales, et dans la stratification des couches des ondulations qui n'existent pas.

Qu'à ce sujet il me soit permis de rappeler une expérience peu connue de Petzholdt (*), par laquelle il a obtenu, d'un certain bois, la moitié de son volume en une houille de 1,18 de densité : que la transformation ait été arrêtée au degré du lignite, et la réduction aurait été plus faible comme en témoigne un jayet que j'ai eu l'occasion d'étudier ; qu'au lieu de bois Petzholdt eût employé une écorce très dense, nul doute qu'il n'ait obtenu encore une plus forte proportion de houille.

En tout cas, on ne devra pas, par la suite, s'étonner que des lits de houille ne se soient pas plus réduits que les schistes, c'est-à-dire à la moitié environ de l'épaisseur primitive. Nous verrons que les rapports des couches de houille avec les roches encaissantes ne permettent pas de croire à une réduction sensiblement plus importante.

SECTION II.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA HOUILLE.

Voyons maintenant la houille en masse et examinons-la comme minéral et comme roche ; tout d'abord au point de vue microscopique.

EXAMEN MICROSCOPIQUE DE LA HOUILLE.

A la loupe et sous la lentille à réflecteur du microscope Chevalier, nous avons vu, organisés, la plupart des débris

---

(*) *Ueber Calamiten und Steinkohlenbildung*, p. 24 à 26.

chlorophylliens qui entrent dans la composition de la houille et cela aussi nettement que les mêmes débris isolés dans les schistes.

Cependant, préparées pour l'examen par transparence, toutes les houilles, les houilles compactes comme les houilles feuilletées, celles qui sont formées de feuilles et d'écorces comme les houilles amorphes, le stipite de Gouhenans, le lignite de Fuveau, ne donnent aucune trace de structure ni de corps figuré, ce qui a grandement lieu d'étonner.

Il y a là une contradiction.

Par transparence, Witham (*) n'a presque pas pu découvrir de structure dans la houille ; celle qu'on y aperçoit exceptionnellement, si elle n'appartient pas à du fusain, paraît être due à une légère minéralisation partielle des tissus. Des feuilles de Cordaïtes superposées composant certaines houilles, on ne remarque pas même toujours nettement les cuticules, les tissus intermédiaires sont confondus en une masse dans laquelle on ne distingue plus ni cellules ni vaisseaux. Les écorces isolées de Cordaïtes ne laissent même rien apercevoir. C'est à peine si les écorces de *Calamodendron* montrent un alignement fibriforme de matière.

Que penser de cela, sinon que les éléments visibles comme corps opaques n'ont plus de paroi distincte, et que tout le contenu des cellules en remplit les mailles d'un mucilage uniforme qui a dû être du dopplérite.

Les éléments restés parfois visibles comme corps opaques le doivent sans doute à la membrane primitive de cellulose qui, étant analogue à la cuticule, a résisté le plus à la pourriture aqueuse; comme cette membrane ne peut être saisie que très difficilement sur le vivant, on conçoit qu'elle échappe sur le fossile, d'autant plus qu'elle doit avoir perdu toute consistance. Mais elle a persisté; elle est figurée dans l'ou-

(*) *The internal structures of fossil vegetales*, p. 50, Pl. XI, *fig.* 6, 7 et 8.

vrage posthume d'Adolphe Brongniart (*), aux *fig.* 12 et 20 de la Pl. X, qui rendent la réalité des choses mieux qu'on ne l'avait fait jusqu'à présent.

J'ai remarqué dans le bois que les pores pariétaux s'effacent avant les fibres. D'ailleurs, les tissus qui sont discernables dans le lignite frais se fondent par la dessiccation dans une masse compacte. Or, les bois du lias et de terrains plus récents transformés en houille ont l'apparence microscopique de la houille rendue transparente; le lignite xyloïde brun quaternaire de Durfort a déjà ses tissus en grande partie oblitérés, des parties, paraissant organisées à la loupe, ne le sont plus vues au microscope par transparence; il en est de même d'un lignite de Francfort.

La contradiction signalée ci-dessus est donc très générale; elle concerne le bois transformé incomplètement en houille aussi bien que la houille, et vient de la dissolution de la matière incrustante des cellules et de leur remplissage par une substance charbonneuse uniforme en résultant.

L'aspect microscopique de la houille transparente est celui d'une matière bitumineuse, nuageuse, d'un brun sanguin; c'est exactement celui de la matière que renferment quelques cellules dont la paroi n'est pas complètement dissoute, ou qu'on trouve coagulée dans la silice de Grand'-Croix. Le cannel-coal rendu transparent a la même apparence microscopique, il a donc la même origine que la houille. L'anthracite ne laisse plus apercevoir que quelques parties jaunes transparentes résinoïdes au milieu d'une poussière noire.

On dit que les tissus de la houille ont été bituminisés par imprégnation; mais, dans ce cas, on distinguerait la paroi des cellules; d'ailleurs, le peu de perméabilité de la paroi se serait opposée à la pénétration du bitume, qui est

(*) *Recherches sur les graines fossiles silicifiées de Saint-Étienne.* Imprimerie nationale, 1880.

nuageux et peu fluide. Et comme les débris sont les mêmes partout dans les roches comme dans la houille, il faudrait, ce devant quoi on n'a pas reculé, supposer que, préalablement au dépôt, ils ont tous et toujours infusé par impossible dans une sorte de poix.

D'après les données qui précèdent, c'est en dedans de la membrane cellulaire des éléments anatomiques, dans leur contenu et la lignine ou les produits d'une première transformation sous l'eau qu'il faut chercher l'origine de la substance qui forme la houille; c'est elle qu'il faut soumettre à l'expérience, comme le fait M. Frémy.

Devant la structure inorganique de la houille transparente, M. Frémy, ne connaissant aucun réactif ou agent qui détruise les tissus végétaux, en avait induit que la houille a été formée par un bitume.

Cela peut paraître vrai pour la houille amorphe, mais elle a été formée de la même matière que l'autre, seulement cette matière ulmique, non bitumineuse à l'origine, a été préparée en dehors des aires de dépôt, tandis que la substance de la houille organisée s'est développée dans les tissus et résulte de la transformation de leur contenu en produits charbonneux qui les remplissent complètement.

CARACTÈRES MINÉRALOGIQUES ET PÉTROLOGIQUES DE LA HOUILLE.

Au point de vue minéralogique, on distingue la *houille cubique* à deux clivages, la houille lamellaire, la houille granulaire, la houille compacte. L'anthracite granulaire de Montigné ne se trouve que dans les parties dérangées du gîte, et ses prétendus grains cristallins sont tout simplement du charbon brisé et poussiéreux.

Clivage. — Diaclases. — Le clivage de la houille est perpendiculaire à la stratification; il n'existe que dans les houilles claires et pures et ne traverse pas le fusain.

Ce sont des fissures de retrait qui se sont produites lorsque la houille s'est prise en masse solide et dure. Ces fissures, qui ne traversent que les *lames claires des houilles barrées*, sont remplies de substances spathiques apportées par la circulation d'eaux minérales qui ont abandonné les mêmes matières dans les tranchants des roches et les crics internes des nodules, savoir des carbonates multiples avec de la pyrite, du sulfate de chaux, et parfois de la barytine, blende, galène, etc.

Cassures. — Les cassures de la houille, toujours plus ternes sur la couche que sur la tranche, sont en grand comme en petit, jusque sous le microscope, conchoïdales, zonées et rayonnées comme celles du brai sec.

Fleurs de la houille. — Rhode a figuré (*) de la houille de Waldenburg à empreintes dont la substance charbonneuse lui a paru formée de fleurs ressortant en petites rosaces sur les surfaces des fissures remplies de spath calcaire; c'est un genre de cassure de retrait, à la vérité fort singulier, qui n'est pas rare dans le charbon pur et brillant.

Œil de perdrix (*Augenkohle*). — Sur la tranche, les cassures de la houille simulent quelquefois des sections de petites tiges dicotylédones appelées œil de perdrix ou « Augenkohle »; la houille est dite oculée. J'ai vu du gore compact avec des cassures analogues.

Boules d'anthracite. — État sphéroïdal de la houille. — L'anthracite de Charbonnier, près Brassac, affecte un état sphéroïdal très marqué, à divisions concentriques à la périphérie; la stratification, indiquée par des veines et lames plus ternes ou plus brillantes, passe à travers les boules sans déviation aucune; par conséquent elles se sont développées dans la houille où elles sont d'ailleurs réparties très irrégulièrement; entre elles le charbon tend au même arrangement moléculaire; il y a des boules allongées, quel-

(*) *Beiträge zur Pflanzenkunde der Vorwelt*, Pl. VII, p. 29 et 30.

ques-unes renferment du fusain, mais, non plus que les diaclases, elles ne traversent pas les colles du charbon.

Entre les zones concentriques des boules se remarquent des lamelles minérales analogues à celles qui occupent les disjonctions de clivage, de manière à faire croire que l'état sphéroïdal s'est produit, en même temps que le clivage qu'il remplace, au moment de la solidification de la masse.

Cet état n'est pas rare, il s'accuse dans le cannel-coal de Montrambert et il serait fréquent dans la houille de Belmez (Espagne). Ce n'est pas l'effet d'un métamorphisme avancé, car on trouve à la mine de Pécs, dans le lias de Hongrie, des boules de stipite analogues aux boules d'anthracite de Charbonnier.

Houille frisée. — A Beaubrun le charbon le plus pur de la 3e couche est, par places, frisé, c'est-à-dire se divise suivant des surfaces, bombées du même côté, coupant sous un angle faible la stratification, ne traversant pas les sillons de fusain; surfaces soyeuses, lobées en éventail, à divisions obtuses plus ou moins surlobées, recourbées au bout, se recouvrant quelquefois par les bords, s'embranchant les unes aux autres; enfin formant un ensemble très complexe, mais d'étendue très limitée : ce sont tout simplement des glissements en cornet.

Houille striée. — La houille est parfois striée suivant des surfaces planes qui, lorsqu'elles se croisent, divisent le charbon en coins ou en fragments rhomboédriques « mailles du Flénu ». Les surfaces striées ne sont pas limitées, elles coupent les joints de la houille sous un angle plus ou moins ouvert. A la Malafolie les houilles striées sont les plus pures, le charbon cru ne l'est pas, parce qu'il n'a pas été aussi malléable que l'autre.

Les stries de la houille sont analogues aux fissures de glissements dont nous parlerons plus loin ; elles sont parallèles et règnent dans une certaine étendue des couches. J'ai bien remarqué au Sagnat-Midi (Roche-la-

Molière) qu'elles sont en rapport avec le mouvement du terrain qui a fait faire à la couche un dos d'âne dans cette région. Comme origine elles sont donc très différentes du clivage.

Eau hygrométrique. — Eau de carrière. — La houille contient peu d'eau comparativement aux autres combustibles minéraux, ainsi que l'indique le tableau ci-dessous :

Le bois de pin exposé à l'air renferme 20 p. 100 d'eau non combinée.
Le lignite xyloïde, 18; celui de Mégare (Grèce), couleur chocolat, 40.
Le lignite parfait, 10; celui de l'île de Négrepont, 20.
Le Stipite de Gouhenans, 11, et peut en absorber encore par un temps humide.
Et la houille, 0,50 à 2 p. 100.

Cependant la houille mate de la Chapelle-sous-Dun en renferme 10 à 12 p. 100; il en est de même de celle de Dombrowa (Pologne).

Les houilles ternes paraissent en renfermer plus que les autres.

Porosité. — Les houilles ternes sont aussi les plus poreuses, elles happent à la langue. La houille compacte de la Malafolie laisse passer facilement l'eau, tandis que la houille claire et clivée de Latour la retient.

Pleurs de la houille. — A Rive-de-Gier, la Bourrue, dans les parties vierges, pleure quelquefois à grosses gouttes, par suintement de l'eau de carrière contenue dans ses pores, et non, je l'ai bien vérifié, par condensation de l'humidité de l'air à la surface du charbon.

A ce sujet je ferai remarquer que quand on dépile une couche, le charbon abattu est plus sec que quand on le trace en couche vierge. A Montaud, par exemple, le charbon de la 8e couche est très humide à l'avancement du niveau; l'eau en sort en sifflant sous la pression du gaz.

La houille en masse a formé une pâte homogène et est restée souple plus longtemps que les roches.

En raison de la loi physique qu'un corps, en passant de l'état mou à l'état solide, prend corps à cassures conchoïdes, on peut admettre que la houille porte en elle la preuve que la matière combustible a été pâteuse, ses cassures, indiquées ci-avant, étant celles d'une masse homogène.

Toutefois, la substance végétale n'a pas éprouvé une fusion complète, et, contrairement à une assertion de M. Gœppert, elle ne s'est pas trouvée dans un état de dissolution plus avancée que le lignite ordinaire.

Elle est restée longtemps souple, jusqu'après solidification des roches, car on la trouve non brisée dans des terrains glissés et déchirés; elle était peut-être encore flexible à Saint-Étienne lors du soulèvement du Pilat, à la fin de la période jurassique.

Ce n'est pas à dire qu'elle fût molle, elle a toujours été plus consistante que certaines roches ensaissantes argileuses ondulées.

Et, même encore aujourd'hui, sous des exploitations, elle est capable de s'infléchir un peu sans se briser, avant qu'elle ait perdu toute son eau de carrière.

La conversion en houille a fini par la dessiccation.

La houillification, ayant procédé par voie de pourriture humide, a fini par la dessiccation, et une dessiccation presque complète, à laquelle est loin d'être parvenu le lignite récent.

C'est seulement après dessiccation que la houille a eu son aspect piciforme actuel. Il en a été d'elle sans doute comme

du lignite de Saint-André-le-Gaz, à cassure terne, fibreuse, arrachée, lequel, après exposition à l'air, devient compact à cassure brillante, la structure discernable auparavant disparaissant dans une masse homogène résiniforme. Il y a longtemps que j'ai constaté le même fait sur du bois pourri trouvé au toit de grès sableux non agglutiné de la veine de lignite de Ratassière (Isère) ; un fragment de ce bois, couleur marron, qui m'avait été remis humide, tendre et terne, à cassure ligneuse, est devenu, après dessiccation à l'air, cassant et brillant comme du lignite piciforme. J'ajouterai que les produits ulmiques de la tourbe faite, en se desséchant, durcissent et prennent une cassure résinoïde.

Comme la houille renferme peu d'eau, on pourrait croire qu'elle a été soumise à une certaine température souterraine; mais celle-ci n'a pu être élevée. Comme les roches, la houille, en perdant l'eau de carrière qui ne se remplace pas, s'est durcie. Mais cela a dû être très lent, extrêmement lent, les anthracites n'ayant pas des fissures de retrait plus grandes que la houille. Et cet effet n'a pas eu pour cause l'intervention accidentelle de l'eau chaude, car celle-ci aurait déterminé des crevasses de retrait notables, comme dans le stipite de Gouhenans où elle a amené le plâtre et la pyrite qui remplissent ces crevasses perpendiculaires à la stratification.

On peut présumer de tout cela que l'anthracite ne provient pas d'une houille tout à coup soumise à une certaine température qui l'aurait crevassée. C'est le produit final d'une conversion qui s'est opérée dans des circonstances particulières dès l'origine.

La cause de la dessiccation n'est peut-être pas bien difficile à deviner; elle s'est peut-être tout simplement opérée par séparation naturelle de l'eau des parties charbonneuses qui prenaient corps en se transformant.

Mais la houille est-elle fixe, ou continue-t-elle encore à éprouver des changements, comme le croient plusieurs

auteurs, Bischof, Stanley Jevons entre autres? Je la crois parvenue à un état permanent, et comme preuve, la houille des affleurements ne diffère pas souvent de celle des mêmes couches en profondeur.

SECTION III

COMPOSITION CHIMIQUE DE LA HOUILLE.

Examinons maintenant au point de vue chimique tous les produits de la conversion, et voyons ce qu'ils impliquent. Commençons par les matières gazeuses et liquides qui s'échappent de la houille exposée à l'air.

DES PRODUITS GAZEUX ET HUILEUX DE LA HOUILLE.

Grisou. — Le grisou C^2H^4, le 1er terme (Formène) d'une série de carbures déduits par désoxydation, se trouve, d'après Lyon Playfair (*), mélangé en proportion variable de CO^2 et Az, rarement avec un peu d'oxygène, sans C^4H^4, (produit artificiel de distillation que Bischof dit cependant avoir constaté dans le grisou de quelques mines). Schondorff y a découvert un peu de méthyle, C^4H^6, 2e terme de la série forménique, et en raison de ce que les composés d'une même série organique vont souvent ensemble, on doit s'attendre à y rencontrer d'autres carbures, qui peut-être donnent au grisou cette odeur, piquant un peu au nez, qu'on remarque dans les culs-de-sac au moment où ce gaz se dégage.

La composition donnée par Playfair est celle, non du grisou inclus, mais des soufflards où n'existe pas trace de CO ni d'H; les autres corps étrangers, Az, CO^2, ne peuvent

(*) *Memoirs of the geol. surv.*, vol. I, 1846, p. 460.

s'expliquer que par l'intervention de l'air, dont l'oxygène a déterminé la formation de CO^2.

Je ne vois pas qu'on puisse expliquer autrement que par une plus forte oxygénation que d'ordinaire le fait que ce dernier gaz se présente dans la houille et les roches de Rochebelle, comme le grisou ailleurs.

A la Combelle (bassin de Brassac), il semble s'être développé dans la houille en même temps que le grisou, car ces deux gaz se dégagent ensemble, en proportion variable et de toutes les couches, du charbon clair et pur aussi bien que du charbon cru, et non des roches; et cela d'une telle manière qu'il est impossible d'imaginer qu'il ait pu y être introduit comme à Bouxhors où le gaz acide carbonique ne sort violemment du charbon, broyé et tendre, que tout près du terrain tertiaire.

Ce fait, pour être local, ne concorde pas moins, à la Combelle comme à Rochebelle, avec une nature plus ou moins anthraciteuse du charbon, et il paraît d'autant plus se lier à la conversion, que la houille dégage certainement dans quelques chantiers d'exploitation tout ou partie de ce que les mineurs appellent la *force*, ou mélange dans lequel ne brûlent plus les lampes. Pourquoi d'ailleurs la houille n'aurait-elle pas engendré dans quelques cas particuliers de l'acide carbonique comme le lignite?

Le grisou, inconnu en Russie, accompagne principalement les charbons gras; il n'existe presque pas dans le charbon à gaz non plus que dans la houille anthraciteuse; cependant, à Saint-Gervais (Hérault), cette dernière en renferme beaucoup, et à Blanzy la houille à longue flamme est grisouteuse. Il est très irrégulièrement répandu dans une même couche. Absent aux affleurements, il augmente en profondeur; les parties tendres en contiennent, ou du moins en dégagent beaucoup plus que les parties dures de la même couche; c'est un fait bien reconnu à Saint-Etienne.

M. Cornet et d'autres exploitants belges m'ont dit que le

grisou est concordant à la houille daloïde en ce sens qu'il n'y aurait de grisou que dans le charbon pourvu de fusain, qui le tiendrait condensé dans ses pores. Mais à Blanzy la houille qui renferme beaucoup de grisou ne contient pas plus de fusain que l'autre.

Les schistes charbonneux renferment parfois beaucoup de grisou ; des bancs de schiste noir non charbonneux en portent en eux-mêmes, parfois autant qu'une couche de houille. Il n'y en a dans le grès que celui qui s'y est infiltré.

Il se dégage par place en si grande quantité, comme à la rencontre de la couche Chapelon et du travers-bancs de Monterrad (Malafolie) où il bouillonne avec la même ardeur depuis plus de dix ans, qu'il faut admettre qu'il est très condensé dans la houille. En Belgique, il y est emprisonné sous une pression qui peut atteindre 13 atmosphères, d'après ce que m'a dit M. Durant. Il se dégage alors violemment, il détone même et projette le charbon en fine poussière sèche. Les données fabuleuses qu'a fournies l'accident de Frameries rendent vraisemblable la supposition faite par M. Arnould, que le grisou peut se trouver dans le charbon à un état liquide d'une excessive volatilité ; M. de Vaux a même été porté à croire qu'il y existe accidentellement à l'état solide, à raison de l'énorme accumulation de ce gaz dans certains espaces restreints.

L'aspect microscopique de la houille transparente me ferait croire que le grisou est en quelque façon retenu, dissous par les carbures, ses congénères, dans la masse brune qui forme le combustible, et non emprisonné dans ses pores, comme on le dit.

Sève de la houille. — On comprend maintenant pourquoi les houilles à grisou abandonnent avec ce gaz une partie de leurs principes gras ; on comprend, comme l'a constaté M. Malherbe, que dans les parties vierges, le charbon sue parfois des produits bitumineux à l'état de

vapeurs mêlées à l'eau, en d'autant plus grande quantité que le charbon est plus grisouteux ou plus bitumineux. En perdant ses sucs la houille perd une partie de ses qualités; chacun sait qu'à l'air le produit agglomérant des houilles grasses diminue constamment, il en est de même du pouvoir éclairant des houilles à gaz; sous ce rapport, les houilles de Rive-de-Gier, plus denses et plus dures, à égale teneur en cendres, que celles de Saint-Etienne, s'altèrent lentement, tandis que celles de Chaney, par exemple, sont réputées ne donner de bon coke que peu de temps après leur sortie de la mine.

On sait que par le lavage certaines houilles perdent une partie de leur pouvoir de carboniser; la houille fine de Villebœuf donne non seulement une irisation, mais une mince nappe d'huile qui se tient à la surface de l'eau. Les schlamms du charbon de forge abandonnent rapidement tous leurs principes collants en se desséchant à l'air.

Au broyeur Carr, la houille donne des odeurs de benzine et abandonne des produits bitumineux. Le sulfure de carbone dissout quelques carbures peu fixes de la houille. Le charbon de la couche des grès noirs de Commentry, traité par l'éther, abandonne un peu d'huile. Hutton a remarqué dans du cannel-coal des cellules remplies d'une matière bitumineuse rougeâtre et volatile, s'en allant par la chaleur bien avant le moindre changement dans la houille.

Tout ce qui précède est dit pour établir que, dans la houille, il y a des vapeurs condensées de principes bitumineux avec ou sans grisou, ces vapeurs s'échappant d'elles-mêmes. Elles sont associées dans les houilles grasses à d'autres carbures plus fixes qui distillent déjà à 50° (*). La série doit se continuer par des carbures de plus en plus condensés et stables.

(*) De Marsilly, *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 347.

Mais je crois probable que la matière brune de la houille transparente est formée en partie notable de principes ternaires très peu oxygénés, plutôt que d'hydro-carbures de la série forménique, dont le premier terme, maintenu dissous par une affinité de famille, s'est échappé quand il a pu, les autres n'abandonnant la place qu'à l'air libre, et les plus fixes exigeant pour partir un temps plus long ou l'intervention d'une certaine température.

Échauffement spontané de la houille. — Les houilles qui prennent feu spontanément sont les plus riches en gaz éclairant et les plus poreuses; dans les pores, les affinités capillaires condensent, en l'échauffant, l'air, ce qui détermine d'abord une certaine combustion lente des hydrocarbures légers, laquelle finit par dégénérer en incendie. La grande porosité du coke de boghead le rend en effet pyrophorique. Une autre cause d'incendie est la pression ou les frottements de parties les unes contre les autres; c'est elle qui met le feu dans les houilles non susceptibles de s'échauffer spontanément.

La houille, d'après les expériences de M. Fayol (*), s'oxyde, car elle absorbe beaucoup d'oxygène et pas d'azote; par là, elle augmente de poids, de 4 à 6 p. 100, et la houille grasse, sans devenir sèche, rend beaucoup plus de gaz après qu'avant. Les houilles ligniteuses du centre de la Russie s'oxydent rapidement. L'absorption apparemment exclusive de l'oxygène s'explique par la combustion lente qui le consomme.

DE LA HOUILLE MÊME.

De ce que nous savons à la connaissance complète de la houille, il y a loin. Voyons ce que peuvent encore nous apprendre l'analyse de cette roche carbonée

(*) *Bulletin de l'industrie minérale*, 1879.

et l'analogie qui est notre principal moyen d'investigation.

Je prends au hasard l'analyse élémentaire suivante d'un échantillon de houille :

C	=	85,30	p. 100.
H	=	6,30	—
O	=	5,55	—
Az	=	0,285	—
S	=	0,36	—
Cendres		2,21	—
		100	

Je ferai tout d'abord observer que toutes les houilles renferment avec les quatre éléments organiques par excellence : C, H, O, Az, du phosphore. Les recherches des métallurgistes viennent de constater que le coke en contient autant que le charbon de bois, nouvelle preuve que la houille est d'origine végétale. On sait que la houille est le combustible qui renferme le plus d'azote, et Delesse (*), se fondant sur une teneur de 1,50 à 2 fois plus élevée dans les houilles que dans la moyenne des débris végétaux actuels, sachant d'ailleurs que le bois en a moins que les feuilles, a conclu que la houille a dû être formée plus spécialement de débris foliaires, ce qui est vrai. Il est à croire, vu la difficulté qu'il y a à obtenir tout le soufre de la houille, qu'une partie y est en combinaison multiple. Rien n'est plus variable que les proportions des éléments constitutifs principaux de la houille : à Rive-de-Gier la somme O+Az dépasse à peine H ; à Commentry, cette somme est 2 à 3 fois plus grande. En général il y a en poids 3 à 4 fois plus d'O que d'H.

Mais cela n'apprend rien sur les principes immédiats de la houille. Toutefois il n'est pas possible, comme le veut Kurr, qu'elle soit formée de résine, de carbone et de cendres mélangés ; le carbone n'y est pas indépendant de toute

(*) *Annales des mines*, 5e série, XVIII, 151.

combinaison. Et l'on doit considérer comme une fantaisie les calculs de Richardson concernant une houille à grisou, par lesquels il l'a mise en formule ternaire ; elle ne saurait être une espèce chimique, car pour cela il aurait fallu que, par impossible, les différentes matières végétales constituantes qui ont donné lieu à autant de séries de produits, fussent arrivées, au terme de la conversion, toutes ensemble, au même composé défini ; ils ont pu se rapprocher, mais non se rejoindre complètement.

Ce doit être un mélange complexe, comme l'indique le trouble de la houille transparente. Il doit y exister des composés azotés, phosphoreux et sulfureux encore plus compliqués que ceux obtenus par la voie analytique de la distillation, lesquels ne préexistent pas plus dans la houille que le goudron dans le bois.

Pour se rendre compte de la conversion en houille, on a interrogé la pourriture du bois : par là il y a augmentation de la proportion de C par déshydratation simple. La métamorphose vers la houille continuant, il y a eu formation d'un produit surhydrogéné ; donc il n'y a pas seulement déshydratation comme on l'a dit, il y a en même temps désoxydation (*), et l'oxygène s'est uni de préférence au carbonne pour donner CO^2 avec quoi s'est échappé $C^2 H^4$ et formé HO. Or, l'oxygène étant 8 fois plus lourd que l'hydrogène, son élimination concentre rapidement C et H. Aussi la différence entre les combustibles minéraux porte-t-elle principalement sur la proportion d'oxygène, comme le montre le tableau suivant de la composition des principaux combustibles en équivalents chimiques rapportés à la même quantité de C.

(*) L'acide azotique en oxydant la houille la ramène en effet à l'état de principes ulmiques.

	C	H	O
Cellulose.	24	24	24
Bois.	24	18,40	16,40
Tourbe.	24	14,40	9,60
Lignite.	24	15	3,30
Houille	24	10	3,30
Asphalte.	24	14,60	2,00
Bitume.	24	8	0,10
Pétrole.	24	24	0

Dans ce tableau, tranchent le pétrole dépourvu d'O, le bitume qui est du pétrole oxydé et l'asphalte. Ces trois composés ne doivent pas avoir la même origine que les autres; leur composition est plus simple que celle de la houille. Ils sont libres et gisent tout formés dans les roches puisqu'ils sont solubles, tandis que ceux qu'on peut tirer de la houille ou des schistes bitumineux n'y preéxistent pas de toute pièce.

La houille résultant de débris chlorophylliens et de substances ulmiques, c'est sur eux que doit porter l'investigation.

Il n'y a pas de raison de croire que les substances ulmiques fussent différentes de celles d'aujourd'hui ; à côté de l'acide humique, qui est un produit de déshydratation à des degrés variables, il y avait, sans aucun doute, d'autres substances analogues, mélanges de corps neutres, acides, azotés ou non ; des parties plus noires devaient jouer le rôle de base ; la végétation houillère y avait joint des produits gommeux. Avec le tout se trouvaient mélangées des feuilles et écorces détrempées qui étaient moins avancées dans la décomposition.

Devant tant d'éléments divers, mais non hétérogènes, on ne peut moins faire que de limiter les recherches aux composés dominants, qui sont les acides ulmiques.

Ils ont dû subir un faible changement pour former les combustibles récents, lesquels sont presque entièrement solubles dans la potasse bouillante. En sorte que le pre-

mier degré de la conversion serait l'état des matières végétales complètement ulmifiées à la suite d'une simple condensation par déshydratation (Berthelot).

Le lignite parfait, n'étant pour ainsi dire plus soluble dans la potasse, présente le 2ᵉ terme de la conversion ; mais on ignore comment il est dérivé du 1ᵉʳ.

La houille, ou dernier terme de la série des métamorphoses, des principes ulmiques, est probablement formée de substances charbonneuses, complexes comme eux, mais moins variées et plus rapprochées les unes des autres. La formule d'une houille pouvant s'exprimer par $C^{96}H^{42}O^{4}$ comparativement à celle de l'ulmine, $C^{96}H^{28}O^{28}$, la réduction, comme je l'ai déjà dit, n'a pas continué par déshydratation, même avec formation de $C^{2}H^{4}$; il a dû se dégager CO^{2}. Dès lors on comprend que la houille puisse renfermer ce gaz, lorsqu'il n'y a pas eu de causes de dissolution et d'entraînement dudit gaz par l'eau.

Il y a entre le lignite et la houille une grande distance qui doit être franchie par plusieurs stades inconnus. L'étude du stipite laissera entrevoir plus loin une modification transitoire possible.

Les considérations qui suivent immédiatement sont aussi de nature à éclaircir le problème de la houillification.

DES SUBSTANCES TERREUSES DE LA HOUILLE.

Toutes les houilles renferment des matières terreuses autres que celles qu'ont pu laisser les débris de plantes dont elles sont formées.

On a constaté à Saint-Etienne que les cendres de houille ont la composition du schiste, et cela se comprend avec la formation par transport, le limon en suspension dans l'eau s'étant déposé soit mélangé à la matière végétale, soit presque tout seul pendant un temps très court pour former les filets schisteux, parfois minces comme une pellicule, qui

divisent la houille, soit tout seul pendant un temps plus long pour y former les nerfs.

Les lames constitutives d'une houille un peu barrée ont une teneur en cendres variant de 0,50 à 25 p. 100.

A Saint-Etienne les houilles les plus pures contiennent en moyenne de 3 à 5 p. 100 de cendres. La plupart en renferment plus de 10, souvent 15. Des menus schisteux, donnant au lavage plus de 50 p. 100 de déchet, sont ainsi formés moitié terre, moitié charbon.

Il y a des cendres infusibles comme celles de la 15ᵉ couche, qui sont siliceuses, et d'autres très fusibles, comme celles du Quartier-Gaillard. Les cendres de la 5ᵉ sont d'un rose caractéristique, celles de la 13ᵉ sont blanches et cependant cette couche renferme de nombreux bois sidérifiés, ce qu'il faut attribuer à ce que le carbonate de fer, en faible quantité, ne s'est précipité qu'attiré par le bois. Les crus schisteux ont des cendres grises, et les crus ferreux, rouge brique.

La couleur des cendres est fixe pour une couche, sauf lorsqu'elle s'est formée dans des encuvements séparés, ou, comme la 8ᵉ, par plusieurs affluents.

Les substances terreuses ont eu une influence notable sur la conversion.

Les matières terreuses ne sont pas restées neutres, elles ont joué un rôle dans la conversion en houille.

Une forte teneur en cendres entraîne, en effet, des différences sensibles dans la qualité des houilles formées des mêmes débris et détritus: le charbon maréchal de Rive-de-Gier, moins cendreux que le *Raffort*, est sensiblement plus bitumineux; à Sarrebruck la houille grasse est plus pure que la maigre. Dans l'Oural, là où le charbon cendreux est très maigre à longue flamme, les veines de charbon pur donnent de la houille relativement grasse.

L'augmentation des cendres influe plus que la diminution correspondante de la matière charbonneuse; elles ont donc eu de l'action sur la transformation des débris végétaux. Les charbons durcis par un ciment siliceux comme celui de la 7[e], ou par le carbonate de fer, se ressentent de la présence de ces terres dissolvant la matière organique. Les terres siliceuses paraissent avoir mieux conservé les principes gras que le carbonate de fer. Une preuve que le ciment ou le milieu a eu quelque action sur la conversion, c'est que les empreintes sont conservées différemment suivant les roches. Dans certains charbons argileux, en effet, la conversion paraît en retard par rapport aux combustibles sus et sous-jacents. Le mélange de schiste a rendu le charbon plus oxygéné si l'on peut s'en rapporter à la composition de la houille Raffort par rapport à la houille maréchale de Rive-de-Gier; le fait est que la Carruche brûle avec une flamme bien plus blanche et moins fuligineuse que la houille ordinaire de cet endroit.

J'ajouterai un fait bien connu des ingénieurs qui ont fait beaucoup d'essais de houille. Si l'on prend dans le même point d'une couche deux fragments de houille, l'un très pur, l'autre schisteux, la proportion de matières volatiles ramenées à la houille dépourvue de cendres sera notablement plus grande dans la dernière que dans la première; cela vient de ce que la matière charbonneuse des schistes intercalés contient beaucoup moins de carbone que la houille à laquelle ils sont associés.

Par suite les schistes extraits par le lavage d'une houille donnée doivent toujours, abstraction faite des cendres, contenir plus de matières volatiles que la houille; c'est ce qui a lieu, en effet : la 8[e] exploitée aux puits du Treuil, Jabin et des Marronniers, a, abstraction faite des cendres, une teneur en matières volatiles qui varie, suivant les quartiers, de 25 à 30 p. 100, si l'on prend des échantillons contenant de 4 à 8 p. 100 de cendres; tandis que dans

les schistes de lavage qui contiennent de 60 à 70 p. 100 de cendres, cette proportion varie de 35 à 40 p. 100, et même 45 p. 100. Aussi ne peut-on, comme je l'ai vérifié, déterminer la nature du charbon par la proportion de matière volatile, abstraction faite des cendres et de l'eau, que si les dernières sont en faible quantité.

DU BOGHEAD ET DES SCHISTES BITUMINEUX.

Croyant que les propriétés spéciales du boghead et des schistes bitumineux sont dues en partie aux substances terreuses, c'est ici le lieu d'en parler.

Les bogheads qui se rapprochent du splint-coal, qui, lui, confine au cannel-coal, brûlent sans coller et se déformer en donnant énormément de gaz et une carcasse de cendres. Ce sont des schistes imprégnés de matières carbonées plutôt que des houilles terreuses; ils se rattachent aux schistes bitumineux.

Ceux-ci, confinant au schiste charbonneux, donnent généralement plus d'huile et moins de goudron que la houille et sont plus hydrogénés.

Cependant à Ségriès (Ardèche), ils ne diffèrent pas sensiblement du lignite du même endroit, qui fournit autant d'huile qu'eux. Et dans la Ruhr ils se rapprochent à la fois du schiste charbonneux et de la houille, leur composition étant approximativement celle du cannel-coal, savoir $C = 77,22 - H = 5.66 - O + Az = 17,12$.

La matière charbonneuse qu'ils renferment a donc la même origine que la houille ; elle ne paraît pas même provenir de végétaux particuliers, elle aurait seulement subi dans les marécages une première transformation favorable au maintien futur de l'hydrogène.

Il n'y a pas d'hydrocarbures libres condensés dans les schistes houillers. — Il n'y a pas eu distillation de la houille. — Les hydrocarbures libres liquides et solides sont d'origine minérale.

Toutes les roches carburées donnent aussi à la distillation des produits analogues à ceux qu'abandonne la houille. C'est que ce sont les mêmes substances végétales différemment décomposées et différemment mélangées au limon, qui noircissent les roches (y compris le boghead d'Ecosse), lesquelles n'ont pas le toucher gras de quelques schistes imprégnés d'hydrocarbures libres. Il est faux de dire que le bitume des schistes bitumineux est combiné à la roche parce qu'il n'est pas soluble ; il n'y préexiste pas plus que dans la houille. La matière noircissant les schistes carbonés ne provient donc pas de la distillation de la houille.

Je dis de plus que les hydrocarbures libres, simples et peu variés, n'en proviennent pas non plus et sont d'origine minérale. Car non seulement la houille grasse ne ressemble pas du tout à de la houille sèche qui aurait éprouvé un commencement de distillation à aussi basse température que possible, mais l'anthracite ne paraît pas avoir pu procéder de la houille par cette voie, qui aurait donné toujours lieu à une certaine production d'hydrocarbures complexes, de goudron et d'eau ammoniacale qu'on ne rencontre pas.

La distillation de la houille n'aurait pas donné des produits aussi simples que les hydrocarbures libres. On verra que la température de métamorphisme n'aurait pu déterminer le départ de ceux condensables. Le métamorphisme s'est d'ailleurs opéré par voie humide et non par voie sèche, comme on en jugera plus loin.

DES DIFFÉRENTES QUALITÉS DE HOUILLE.

On a beaucoup discuté sur la meilleure classification des houilles. Au point de vue où nous les envisageons, nous dirons un mot des 4 espèces suivantes, dont les propriétés sont indépendantes des cendres.

Houille anthraciteuse. — En dominant dans la houille anthraciteuse, le carbone lui donne un aspect gris. Certaines de ces houilles, comme celle de Champclauson à la Grand'Combe et de la 15e au Fay, sont flambantes ; la flamme en est claire parce que les gaz sont oxygénés ; d'après cela, l'avant-dernier progrès de la conversion éliminerait surtout de l'hydrogène.

Houille bitumineuse. — Les développements qui précèdent ont principalement trait à la houille bitumineuse qui a une cassure claire, une texture clivée et un aspect de brai.

Les houilles à gaz et le charbon flénu ménagent la transition à l'espèce suivante. Les carbures y sont dans un état chimique particulier, car le volume de gaz éclairant du charbon à gaz de la Malafolie n'est pas plus élevé que celui de gaz non éclairant du charbon bitumineux de Firminy.

Houilles hydrogénées. — Le cannel-coal, plus pauvre en carbone et proportionnellement plus riche en hydrogène, se distingue beaucoup des autres houilles, non seulement par son aspect terne et sa poussière brune qui l'ont fait bien à tort rapprocher du lignite, mais par sa distillation, qui rend beaucoup de gaz oléifiant et de paraffine. Il se rattache au boghead et au schiste bitumineux.

Houilles oxygénées. — Les houilles oxygénées, comme celle du terrain permien, se relient moins au lignite par une couleur un peu brunâtre et une forte teneur en eau,

qu'aux houilles bitumineuses à longue flamme où l'oxygène aurait augmenté au détriment du carbone seul. Elles rendent un grand volume de gaz.

Alternance et mélange des qualités. — Les différentes qualités de houilles ne passent pas les unes aux autres, du moins dans un même banc. Dans l'Ecosse on connaît une couche composée de lits de plusieurs sortes de charbon. Au Plessis, deux bancs d'une couche donnent l'un du charbon gras et l'autre de la houille sèche. En Saxe, la *Russkohle*, alternant en bancs distincts avec du charbon gras, est très maigre, ce qu'il faut attribuer au fusain pour partie. A Montrambert on a trouvé un banc de cannel-coal au milieu du charbon à gaz de la 3e couche. En Westphalie j'ai vu du cannel-coal interstratifié à la houille claire ordinaire.

Dans une qualité de charbon on peut rencontrer des veines de nature différente : ainsi à Buxière-la-Grue, le charbon terne très sec à longue flamme renferme des veines et lames brillantes de charbon collant. Il paraît même que dans le charbon très anthraciteux du Marais près Commentry, des veines à aspect plus gras de 0m,05 à 0m,15 donnent une houille susceptible de se souder au feu.

L'état de décomposition des débris végétaux, au moment de leur dépôt, a eu une influence notable sur la qualité du combustible.

Les qualités différentes de quelques houilles alternantes ou mélangées sont certainement dues à des différences dans l'état physique des débris végétaux au moment de leur dépôt. La conversion en houille mate a été décidée par l'état de bouillie de la matière végétale.

Le pouvoir important qu'ont eu les substances terreuses de modifier la qualité des combustibles ne paraît pas capable d'avoir pu effacer les propriétés que les derniers

tiennent de l'état de décomposition des végétaux dont ils ont été formés.

C'est à un état particulier de la matière végétale qu'il faut rapporter en partie le fait que le charbon de Montrambert est différent de celui de Montmartre; car à Montrambert le charbon renferme peu de fusain et beaucoup de tronçons de bois à demi-carbonisés, et à Montmartre c'est tout le contraire, comme si ces deux districts voisins, mais peu semblables, avaient reçu leur contingent de matière à houille de deux marais différents.

Les schistes associés se ressentent de l'état physique des débris végétaux apportés ; ils n'en sont pas imprégnés de la même manière à Montmartre qu'à Montrambert. Du reste, les schistes bitumineux ne se trouvent que près des houilles à longue flamme s'ils ne les remplacent pas.

La nature botanique des débris végétaux n'a pour ainsi dire pas eu d'influence sur la qualité des houilles.

J'ai déjà dit (*Flore carb.*, p. 462) que la qualité des houilles ne dépend presque pas de la nature botanique des végétaux constituants. Il n'en serait guère autrement que s'il avait pu se faire que la végétation de terre sèche vînt de temps en temps s'accumuler dans les bas-fonds, et même dans ce cas la différence qui en aurait résulté viendrait principalement de l'état particulier de décomposition des végétaux à l'air, état bien différent de celui des marécages.

Cependant le charbon de la 8e couche de Saint-Etienne, étant plus maigre que celui des couches supérieures et inférieures, quoique renfermant plus de matières volatiles (*),

(*) A Villebœuf la 8e couche renfermant 22 p. 100 de matières

comme il est formé en très grande partie de *Cordaïtes*, on pourrait croire que ces plantes en sont cause, si l'on ne savait que des parties de houille grasse sont entièrement formées de ces végétaux.

Dans les marécages houillers, les débris organiques subissaient une préparation commune qui les rapprochait les uns des autres avant leur transport dans les aires de dépôt. En effet, si l'on essaie le charbon de diverses planches d'une même couche, formées de débris d'espèces végétales différentes, on ne trouve presque pas de différence de qualité si les échantillons sont de même pureté.

L'idée qui a attribué la qualité des houilles aux essences orestières qui les ont formées ne saurait donc être exacte.

SECTION IV

CARACTÈRES COMPARÉS DES STIPITES, LIGNITES ET TOURBES.

Une bonne manière de comparer les combustibles minéraux récents avec la houille est d'énumérer leurs caractères distinctifs comme matière.

STIPITES.

Les combustibles du keuper et du lias, souvent limoneux et se délitant à l'air, ressemblent plus à la houille qu'au lignite dont on les a trop rapprochés. A Steyerdorf, dans le Banat, les couches supérieures donnent du charbon à gaz et les inférieures du charbon collant qui dégage du grisou. Le charbon du bassin de la Virginie ressemble tout à fait à la houille, il est gras, bitumineux, grisouteux.

---

volatiles est moins grasse que la 13° à 18 p. 100 de ces matières et à même teneur en cendres.

Dans le Caucase et sur le plateau de Larzac en France, il y a du stipite gras.

D'après les analyses de M. de Hauer (*) portant sur tous les combustibles fossiles de la monarchie autrichienne, le stipite du lias aurait le plus grand pouvoir calorifique, ce qu'il attribue à ce que ce charbon, plus récent que la houille, n'a pas encore perdu à beaucoup près autant d'hydrogène carboné qu'elle.

Avant de généraliser cette conclusion, il faudrait d'abord s'assurer qu'elle s'applique à d'autres pays.

LIGNITES.

Les lignites sont très dissemblables sous le rapport chimique suivant le degré de transformation des végétaux. Il y en a de bruns comme la tourbe faite et de noirs clairs et gras comme la houille (Monte-Bamboli).

Comme les combustibles secondaires, ils ont souvent les cendres calcaires; ils sont généralement plus terreux et plus pyriteux que la houille.

Le lignite compact et parfait des Bouches-du-Rhône a une cassure conchoïdale d'un brillant gras; il paraît qu'à Fuveau il a dégagé du grisou. A Négrepont, un lignite de même âge en a donné en quantité notable à un endroit. Mais la présence du grisou dans le lignite est un fait exceptionnel. Est-ce parce que, comme Liebig l'a expliqué, le grisou ne se dégage qu'à la dernière phase de transformation en houille? S'il en était ainsi et si la conclusion de M. de Hauer était admissible, la formation du grisou marquerait la conversion en houille bitumineuse. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'il se forme déjà du grisou dans les marais. D'après M. Haidinger, l'acide car-

(*) *Ueber das Verhältniss d. Brennwerthes d. foss. Kohl. Österreich.-Mon.*, 1863.

bonique domine dans les gaz qui accompagnent le lignite ; ce géologue ne donne pas l'explication de ce fait.

Le lignite xyloïde de Volberberg, brun, sans éclat, avec stries brillantes sur la cassure, est soluble en partie dans la potasse, et les fibres restantes sont d'un rouge brun brillant. Le lignite compact offre dans sa composition chimique, en outre du dopplérite, un élément étranger à la tourbe, une substance plus noire insoluble dans la potasse. C'est cette substance, marquant une phase plus avancée de la conversion, qu'il faudrait étudier.

A la distillation, le lignite dégage de l'acide acétique avec odeur empyreumatique comme le bois, tandis que la houille a une distillation basique ammoniacale. Ces deux combustibles sont donc très différents au point de vue chimique.

TOURBE.

La tourbe offre tous les degrés de transformation, depuis la tourbe fibreuse à peine ulmifiée jusqu'à la tourbe compacte à cassure résineuse.

Au microscope, la tourbe mousseuse apparaît pointillée de dopplérite, et la tourbe parfaite, comme un mélange de granules plus bruns et plus noirst luisants, e homogènes de dopplérite.

La tourbe limoneuse abandonne à la potasse une quantité importante de son poids, qui peut aller à 77 p. 100.

On a dit que la tourbe renferme des matières bitumineuses en quantité notable ; c'est une erreur, aucune partie de la tourbe n'étant soluble dans l'alcool ou le sulfure de carbone.

Il n'y a pas filiation entre les combustibles minéraux, en ce sens que les plus avancés auraient passé par l'état des autres.

Cela posé, on dirait que les combustibles minéraux d'âges différents forment une série continue (*); aussi a-t-on répété que les végétaux, en se transformant plus ou moins, ont formé, de la même manière et successivement, tourbe, lignite, houille et anthracite.

Cependant M. Gœppert, pour des raisons que je ne connais pas, s'est élevé contre l'idée de Beroldingen, partagée par divers auteurs, entre autres par Karsten, savoir que la houille a été du lignite.

Lorsque, par exception, le lignite est parvenu au même degré de transformation que la houille, il est loin d'être bitumineux comme elle. D'un autre côté, la houille de Niwka (Pologne), qui se gerce et se ternit à l'air et ne paraît pas plus avancée que le lignite de la Provence, en diffère considérablement par ses qualités, qui sont celles d'une houille sèche à longue flamme.

La distillation ammoniacale de la houille a été considérée assez justement comme une preuve que les éléments C,H,Az et O sont provenus de matières végétales assez différentes de celles d'où sont nés le lignite et surtout la tourbe. Il est bien croyable, en effet, que celle qui se préparait dans les marécages houillers avec les plantes que nous connaissons différait notablement des détritus d'herbes qui ont principalement formé le lignite ordinaire.

Nous verrons dans un instant que les combustibles anciens les plus avancés n'ont même pas nécessairement passé par les moins avancés, dans le progrès de la conversion.

(*) Le stipite du lias autrichien est une houille par ses qualités; le lignite du crétacé est parfait, noir; le lignite du miocène est brun, et celui plus récent a encore la structure du bois.

SECTION V

CIRCONSTANCES QUI ONT ENTOURÉ LA CONVERSION EN HOUILLE.

Etablissons encore quelques points importants avant de porter un jugement final sur les circonstances qui ont accompagné la conversion en houille.

Le métamorphisme de la houille s'est produit sous l'action d'une faible température.

A présent que nous avons déterminé la part d'influence qui revient, dans la qualité des combustibles, aux plantes et aux substances terreuses, nous pouvons aborder la recherche de celle qui tient au métamorphisme.

Les terrains de transition étant presque tous fortement métamorphisés (*), on croit qu'ils ont été soumis à une température notablement plus élevée que la température actuelle des roches, et que l'action de cette température a été égalisée par l'eau chaude comme véhicule. Or, comme on a lieu d'admettre que la chaleur terrestre a diminué constamment, et comme, d'un autre côté, on peut vérifier qu'en général les terrains sont de moins en moins métamorphisés en remontant la série, on est en droit de conclure que le degré de conversion en houille, qui augmente avec l'âge du combustible, est précisément en rapport avec le degré de métamorphisme des terrains. Par là on explique pourquoi les combustibles ne sont presque jamais à l'état de lignite dans le terrain houiller et à l'état de houille dans le culm.

Cependant, on verra plus loin que la dureté des roches

(*) Il n'y a guère d'exception qu'en Russie où, près de Saint-Pétersbourg, les schistes silurien et dévonien sont restés frais et tendres.

houillères est aussi souvent un effet de cimentation que de métamorphisme. Dans tous les cas, la chaleur, au degré d'action qu'elle a pu avoir en général sur le terrain houiller, n'aurait pas rendu les roches très dures à défaut de ciment.

Si nous nous reportons à la conservation des débris végétaux, nous voyons, en effet, que la température à laquelle a été soumis le terrain houiller n'a pu être élevée.

Cela dit, nous sommes bien forcé d'admettre que la chaleur souterraine a joué un rôle important, car lorsqu'on voit les couches de Roche-la-Molière devenir maigres du sud au nord aussi bien qu'en profondeur; le charbon très gras à Grand'Croix passer au charbon anthraciteux à Comberigole, le charbon de la 15ᵉ perdre 5 p. 100 de ses matières volatiles du puits Mars au puits Verpilleux, distants de 400ᵐ; la couche du Creusot donner du charbon gras à l'affleurement et de l'anthracite en profondeur, on ne saurait disconvenir que cela ne provienne, au moins en grande partie, d'une répartition très inégale de la chaleur souterraine.

Le lignite miocène de Monte-Bamboli (Toscane) n'est devenu de la houille que par l'action persistante d'une température plus élevée que celle à laquelle a été soumis le terrain tertiaire en général.

Partout où règne la houille maigre à longue flamme, en Haute-Silésie, à Blanzy, dans l'Oural, les roches sont tendres et argileuses et celles qui sont dures le doivent au ciment. En Russie, où le métamorphisme a été presque nul, la houille est restée à l'état de lignite aux environs de Moscou.

D'un autre côté les roches sont plus dures là ou le charbon est gras et maigre ; et lorsqu'il devient anthraciteux, comme de la Combelle à Charbonnier (bassin de Brassac), les schistes prennent en même temps un aspect plus sec et un peu satiné qui les rapproche des schistes houillers des

Alpes, lesquels ont incontestablement été soumis à l'action d'une certaine température.

Mais il ne s'ensuit pas que la chaleur, pour produire de grands effets, ait dû être élevée : la matière végétale étant très impressionnable a pu se transformer à la longue très différemment sous des influences caloriques faibles et peu différentes, mais durables. Je tiens en effet de M. Karpinsky que dans le bassin houiller asiatique de l'Oural, dont les roches ne présentent pas de grands écarts de métamorphisme, au nord se trouve de l'anthracite, au centre de la houille sèche et au sud du graphite ou plutôt de la houille graphiteuse.

Une température un peu plus élevée que la température actuelle des roches a suffi pour activer la transformation dans une mesure notable.

On avait cru que la transformation du bois en lignite est un procédé excédant de beaucoup la durée des temps historiques, et dans le fait, les anciens pilotis et même les bois du diluvium sont généralement loin d'être aussi transformés que la variété la plus jeune du lignite xyloïde.

Cependant, dans une galerie du filon Dorothée (*) pouvant bien dater de quatre cents ans, on a découvert, sous les décombres, du bois de pin, devenu tendre et humide, lequel, à l'air, en durcissant, a donné un lignite brun à surface fibreuse, mais à cassure conchoïdale noire et brillante comme celle de certain lignite supratertiaire. M. Gœppert avait déjà signalé (**) dans les vieilles mines de Charlottenbrunn des étais changés en lignite résineux à traits bru-

(*) *Ueber Umwandlung v. verstürzter Holzzimmerung Braun-Kohle... grub. Dorothea bei Clausthal*, par Hirchwald, 1873.
(**) *Die Gattungen der fossilen Pflanzen*, p. 10.

nâtres. M. Gruner a cité (*) un vieux bois de chêne de la mine de Littry (Calvados), qui, après un séjour d'un siècle dans la mine, à l'abri de l'air, a été rencontré converti en lignite fibreux.

Dans les tourbières anciennes quaternaires, le bois n'est pas encore transformé en lignite xyloïde. Par conséquent il faut admettre que les cas précités répondent à des circonstances particulièrement propices à la conversion du bois en lignite.

Or, les circonstances dans lesquelles a été trouvé le bois ligniteux de la mine Dorothée indiquent une température constante relativement assez élevée, une grande humidité, une assez forte pression des roches supérieures, sans accès d'air.

Une température un peu élevée dans un terrain humide paraît donc devoir être très favorable à une conversion rapide en houille de la matière végétale enfouie.

Qu'à ce sujet on me permette de rappeler une expérience de M. Gœppert, d'après laquelle les parties de plantes chauffées à 80° Réaumur dans l'eau sans accès d'air se sont transformées, dans l'espace d'un an, en lignite xyloïde.

La houillification a d'abord marché rapidement sous l'action d'une température souterraine plus élevée qu'aujourd'hui.

On a trouvé non seulement dans le rothliegende des fragments de houille remaniée, mais, dans divers bassins houillers, des cailloux de charbon ne pouvant provenir que de couches inférieures déjà à moitié houillifiées lors de la formation des couches supérieures.

J'ai trouvé à Bézenet du gravier de houille dans le grès du puits des Ormes, et dans le toit de la grande couche de

(*) *Bull. Société géol. de France*, 2e série, XXVI, 102.

Commentry des cailloux de $0^m,01$ à $0^m,05$ roulés à angles émoussés, non comprimés, de charbon peu clair, stratifié, organisé, à poussière brune. Près de Swansea, dans le grès, avec des galets d'ironstone, se rencontrent souvent des cailloux de charbon; on a signalé dans le Monmouthshire des cailloux de cannel-coal.

Les véritables cailloux de Commentry proviennent d'une houille à moitié faite, et, qui plus est, très probablement de la couche inférieure du Marais.

Il faut alors admettre que le progrès de la conversion en houille était rapide au commencement.

Nous avons signalé, plus haut, des faits curieux, desquels il ressort qu'avant l'enfouissement certains débris détrempés étaient déjà à moitié changés en houille, dans les marécages où la matière végétale subissait une préparation favorable à sa transformation rapide, aussitôt enfouie et recouverte de limon.

M. Gœppert a admis, mais sans donner de raisons, que pendant leur formation même, les couches de houille parvenaient à une certaine solidité, et que la houillification a a eu lieu dans un laps de temps beaucoup plus court que la lignification.

Quel autre agent qu'une température souterraine un peu plus élevée que celle d'aujourd'hui aurait pu activer ainsi la conversion ?

La pression excercée par le poids des roches a peu aidé au métamorphisme de la houille.

Presque partout, on a remarqué l'ordre de succession sur une même verticale, en descendant, du charbon sec, du charbon à gaz, du charbon gras, du charbon maigre et du charbon anthraciteux. Dans le terrain de stipite, lorsqu'il y a du charbon un peu gras, il est en bas de la série des couches. Cela peut provenir, au moins pour partie, d'une

différence d'intensité dans l'action calorifique souterraine qui augmente avec la profondeur. Mais on doit se demander si la variation des qualités sur une même verticale n'est pas un effet de l'augmentation de pression des roches en profondeur?

C'est peu probable, les combinaisons ou décompositions organiques se produisant les mêmes, à même température, *tant* en vase clos qu'à l'air libre. Le fait est que les réactions qui ont produit le grisou paraissent être restées assez indifférentes à la pression exercée par ce gaz inclus. Cependant on ne saurait douter que la pression, en rapprochant les parties, ne facilite les phénomènes lents de la transformation. Forchhammer, Gœppert et Lafard ont reconnu, en effet, que la pression favorise beaucoup la formation de la tourbe *parfaite* en activant la pourriture des herbes. D'un autre côté, M. Baroulier a constaté que pour former artificiellement de la houille grasse sous chaleur, il faut plus de pression que pour la houille à gaz.

Mais de là à avoir changé le produit de la conversion, il y a loin, et je ne crois pas possible d'admettre, comme M. Petzholdt a cru pouvoir l'induire de ses expériences, que la pression des roches ait joué un rôle important dans le métamorphisme des houilles. D'abord, au point de vue du rapprochement des parties par la pression, on peut remarquer que les empreintes isolées dans les schistes sont transformées comme celles qui contribuent à former la houille. Et puis, dans une petite étendue de bassin houiller, à Montrambert par exemple, le charbon est approximativement le même aux affleurements qu'à une grande profondeur, en des points où par suite la pression des roches a différé totalement. A Communay, tout au contraire, l'amaigrissement est rapide, des couches supérieures aux couches inférieures.

Il faut toujours en rabattre beaucoup de l'influence de la pression des roches, que l'on croit universellement avoir été considérable sur les résultats de la conversion en houille.

L'obstacle opposé par l'étanchéité des roches à l'échappement des gaz paraît avoir eu plus d'effet sur la qualité des houilles.

Depuis quelque temps j'ai constaté un fait fort curieux, non seulement près du jour, mais même en profondeur : certaines enveloppes charbonneuses de tiges gisant dans les roches pétillent au feu sans se fondre et sans donner de flamme, alors que tout à côté la houille est grasse et que les veines brillantes de cette houille, représentant les mêmes écorces, sont grasses aussi.

Il est à remarquer, toutes choses égales d'ailleurs, que la houille d'empreintes est grasse dans les schistes, et d'autant plus maigre qu'elle est plus brillante et cristalline dans le grès. Il y a donc eu une influence de milieu qui paraît avoir consisté dans la plus ou moins grande difficulté opposée par la compacité des roches à l'échappement des matières fluides de la conversion en houille.

On comprend que cette difficulté a remplacé la pression des expériences. L'isolement des écorces dans les grès les a mises dans le cas où la houille perd librement ses principes volatils. Une grande épaisseur de roches imbibées d'eau, en retenant ces principes, a dû réagir sur la transformation. C'est elle en tout cas qui empêche le grisou de s'échapper des parties profondes des couches.

Des failles séparent des régions métamorphisées différemmment et il y a des relations entre le métamorphisme et les dislocations du terrain, mais cela n'est pas constant.

A Saint-Étienne, le charbon n'a pas la même nature, non seulement dans les différentes parties du bassin, mais parfois d'un côté à l'autre d'un même grand accident. Aux

exemples cités (*) j'ajouterai qu'au nord de la faille dn Montcel, la houille est tout à coup maigre; que d'un côté de la faille de la République, au Cros, le charbon de la 15e est plus gras que de l'autre côté, à Méons, le charbon de la 15e couche; qu'à Blanzy c'est à partir d'une faille que le charbon, de maigre flambant, devient anthraciteux flambant. Mais la nature de la houille n'est pas changée par la plupart des accidents que rejettent les couches. Toutefois, la grande faille du Soleil a, en faveur de la théorie de M. Daubrée (**), fait perdre 5 p. 100 de ses matières volatiles au charbon de la 8e couche près de cette faille. M. Gruner a rapporté la nature anthraciteuse de la houille, dans le centre du bassin d'Ahun, à la présence de grandes failles.

M. Rogers a fait remarquer qu'en Pensylvanie, le charbon est anthraciteux là où le terrain est bouleversé, et bitumineux ailleurs. A cela, de la Bèche a répondu que cette règle ne se vérifie pas dans le sud du pays de Galles et le sud-ouest de l'Angleterre, où le charbon est anthraciteux là où le terrain n'est pas plus déchiré qu'aux endroits où l'on exploite de la houille grasse; le contraire existerait même. Si donc, comme le démontre M. Daubrée (***), le métamorphisme est dû à des actions mécaniques s'étant exercées dans la masse du terrain qu'elles ont échauffé, il faut croire que dans le sud du pays de Galles le travail mis en jeu s'est transformé en déformations de strates encore molles et, par suite, dans lesquelles le déplacement moléculaire n'engendrait presque pas de chaleur.

Il reste un fait qui domine par sa généralité, c'est que le métamorphisme augmente en profondeur, non comme cote actuelle, mais en profondeur en quelque sorte géologique, c'est-à-dire en âge, puisque à l'affleurement le métamorphisme des couches est le même que plus bas; ce

(*) *Flore carb.*, p. 612.
(**) *Comptes rendus*, 29 avril et 6 mai 1878.
(***) *Géologie expérimentale*, p. 447.

fait paraît dû à l'action d'une plus haute température souterraine s'étant exercée dès le début; les grandes failles, comme celles du Breuil, déterminaient une répartition inégale de la chaleur dans les masses; à même profondeur la température était loin d'être égale; elle était plus forte vers le bord nord que sur le bord sud à Saint-Étienne.

CONCLUSIONS.

Au nombre des causes qui ont donné à la houille les qualités qui l'éloignent des combustibles plus récents, il faut, à mon avis, mettre en ligne sa formation d'écorces, de feuilles et d'humus plus azotées, hydrogénées et carburées que le bois, ayant été susceptibles de développer, dans le produit des réactions, les bitumes qui rendent la houille si avantageuse.

Il n'y a, en somme, de houille que dans le terrain houiller, et lorsque, par exception, le lignite est devenu gras, il est loin d'être aussi bitumineux que la houille proprement dite.

La conversion a d'abord marché rapidement, car, en outre des raisons développées ci-dessus, il y a sur le massif primitif du Beaujolais, en des points rapprochés, du grès à anthracite et du terrain de houille à longue flamme, et les circonstances de lieu me portent à croire que l'anthracite de Tarare était déjà de l'anthracite lorsque s'est formée la houille de Sainte-Paule, ce qui s'accorde avec l'intervalle de temps immense qu'à un autre endroit (*Flore Carb.*, p. 444) nous avons dit s'être écoulé entre les deux formations.

Il semble que dès l'abord les substances végétales ont éprouvé des réactions particulières à chaque district où les charbons ont une qualité spéciale. Il ne paraît pas, en effet, possible que le charbon de forge, friable, stratiforme,

ait passé par l'état d'un charbon à gaz, compact. L'anthracite de Combres, tout organisé, n'a pas passé par l'anthracite moins avancé de Viremoulin, qu'aucune transformation par la chaleur ne paraît capable de faire aller au premier. Mais à bien examiner les combustibles, on voit que leurs qualités spéciales dépendent non seulement des conditions premières de métamorphisme, mais aussi de l'état de décomposition des végétaux lors de l'enfouissement, car à Comberigole, par exemple, la carruche est restée flambante près du charbon antrhaciteux.

Il est bien certain que tous les combustibles se sont formés par la voie humide dans le sol et non par la voie sèche sous l'influence du feu, comme on l'a enseigné.

Les expériences faites, tendant à démontrer que la conversion s'est produite par le feu, ne prouvent pas plus dans ce sens que celle où M. Gœppert, ayant mis une fougère vivante entre deux plaques d'argile qu'il fit sécher et chauffer lentement jusqu'au rouge, en obtint une imitation complète de fougère fossile, ne prouve que tel a été le moyen usité par la nature pour nous conserver les empreintes végétales.

Une certaine température souterraine paraît avoir été le principal agent de transformation par l'intermédiaire de l'eau de carrière des roches. M. Gœppert a supposé qu'elle était inférieure à celle de l'eau bouillante; j'ai lieu de croire qu'elle atteignait à peine 60°.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL.

Ce résumé a pour but de rapprocher, dans l'ordre où elles ont été établies, les principales conclusions et règles de faits, du moins celles qui, étant fondées sur des considérations différentes et s'accordant, peuvent être admises comme démontrées.

Ce résumé servira à esquisser une histoire de la formation de la houille et du terrain houiller.

PREMIÈRE PARTIE

La désintégration des plantes fossiles repousse l'intervention des agents mécaniques violents mis en jeu par les inondations et les fleuves. La désorganisation avait lieu rapidement pour la plus grande partie à l'air, et était complétée par la macération. La désagrégation et la dispersion du bois à l'état de fusain est un double fait qui suppose des actions climatériques très énergiques. Ce sont les bois et tissus, plus desséchés que d'ordinaire, qui ont formé le fusain. La détrition et la quasi-dissolution des débris végétaux étaient poussées très loin dans les marécages houillers.

Les empreintes couchées dans les roches ont été transportées de près par les eaux, et empruntées à des marécages situés en dehors des aires de dépôt houiller, ou à des forêts inondées leur faisant suite. Les débris végétaux, délavés et détrempés dans les marécages avant le transport, n'ont pas flotté longtemps avant d'échouer avec le limon. Les tiges, réduites à l'écorce, étaient vides et généralement très affaissées, sinon aplaties, au moment de leur dépôt et de leur envasement. La forme plate des empreintes et l'état grenu et léger des principes ulmiques ont été favorables à leur dépôt régulier sur une très grande surface.

La houille, par les lames et lamelles corticales et foliaires et les substances ulmiques dont elle est formée et les tissus qu'elle renferme, est incontestablement d'origine végétale : c'est, par sa structure mécanique, une roche sédimentaire au même titre que le schiste. Il n'y a de végétaux en place dans la houille que des *Stigmaria*, rhizomes qui tracent dans le terrain houiller moyen toutes les roches de dépôt tranquille. Mais leur présence dans la houille, contrairement à tout ce qu'on en a dit, suppose un dépôt

sous une tranche d'eau épaisse. Les empreintes de la houille se présentent, en effet, déposées et classées comme dans les schistes, et non confusément embrouillées, les organes des mêmes plantes encore attachés ou au moins rapprochés, comme cela aurait lieu si la houille résultait d'une végétation sur place. La matière végétale qui forme la houille est, du reste, celle qui noircit les schistes et les rend charbonneux ou bitumineux. La houille, parfaitement sédimentée, résulte du dépôt lent et tranquille d'écorces, feuilles et téguments avec les produits ulmiques de la décomposition végétale. Ces matériaux ont été empruntés à d'immenses forêts marécageuses, et l'esprit n'a plus à s'effrayer de la végétation qu'il a fallu pour produire la houille des grandes couches et des amas irréguliers de 10, 20 ou 30 mètres de puissance.

Divers types de plantes houillères ont pu vivre sur les aires de dépôt et pendant les dépôts mêmes comme des végétaux de terrains inondés. Il n'y a pas de doute que les troncs debout et les souches enracinées ne soient à leur endroit natal. Mais les forêts fossiles ne sont que l'extension clairsemée, discontinue, des forêts carbonifères qui s'avançaient par moment dans les aires de dépôt, mais qui laissaient à nu les collines et hauteurs, car la végétation houillère était exclusivement aquatique et marécageuse.

Les forêts fossiles n'ont pas été ravagées par des courants d'eau violents; elles sont mortes par épaississement de la tranche d'eau; les tiges sont emportées, les tronçons restant vides.

Les souches au mur des couches de houille sont dérasées au plan de la sole comme à une dessolarde argileuse, ce qui indiquerait, à l'encontre des suppositions faites, que les couches se sont formées dans des eaux plus profondes que les sols de forêts fossiles; des arbres reposent souvent sur des couches de houille, mais ils en sont indépendants. Dans certains entre-deux, des souches euraci-

nées se comportent par rapport aux bancs supérieurs et inférieurs de charbon comme celles qui ont pied au mur et reposent au toit des couches de houille. En somme, les forêts fossiles accompagnent les couches de houille comme les strates de dépôt tranquille; elles signifient tout simplement qu'une période de calme était nécessaire à la formation des couches de houille. Les forêts fossiles sont, d'ailleurs, étrangères à beaucoup de couches, ou limitées à quelques arbres isolés. Il y a d'ailleurs des bassins et de nombreux systèmes houillers qui en sont privés.

Quels rapports y a-t-il entre la houille et les combustibles minéraux plus récents, stipites et lignites?

Au point de vue de la formation, il y a lieu de séparer le lignite xyloïde du lignite ordinaire, composé, non de bois, mais presque entièrement d'empreintes herbacées, très minces, et de débris ayant l'aspect du fusain, le tout stratifié dans une boue charbonneuse, d'une manière analogue à la houille. Il s'est accumulé dans des lacs au fond desquels se rendaient les débris des herbes hautes qui les bordaient, car il n'y a pas de racines en place dans les roches.

Le lignite xyloïde, lui, réellement et seulement, est en grande partie formé de bois non charbonnés, amenés dans des marais par des crues d'eau, sous l'action et dans l'intervalle desquelles les herbes d'alentour y étaient entraînées quand l'eau, trop profonde, ne leur permettait pas de se développer entre les bois déposés.

La tourbe non plus n'est pas un produit unique au point de vue des conditions de formation, et il y a sous ce rapport une différence grande entre celle de montagnes, à débris entrelacés, et celle de marais à débris plus menus, parfois remués et déplacés par les eaux et plus ou moins stratifiés dans les bas-fonds.

La houille ne peut absolument pas être raprochée de la

tourbe de sphaignes; les tourbières de marais profonds, seules, représentent aujourd'hui très imparfaitement la formation de la houille, et les dépôts d'étangs, la formation de certains lignites fissiles. C'est tout au plus si la tourbe de forêts marécageuses rappelle le lignite xyloïde de dernière formation.

Actuellement règne la formation charbonneuse par voie de tourbage; à l'époque du lignite, la formation lacustre dominait; à l'époque houillère, le charbon se formait uniformément par transport, par un concours de circonstances particulières, dans des bassins qui s'enfonçaient.

Dans tous les temps géologiques, il s'est formé, dans les lagunes, du combustible de transport, mais avec des moyens et une puissance d'action bien différents d'une époque à l'autre. Il y a souvent du charbon dans les dépôts, ayant un caractère lacustre, mais en quantité très variable; il ne s'en trouve presque toujours en masse que dans le terrain houiller qui appartient à une époque où la végétation, presque exclusivement marécageuse, recouvrait d'immenses terres plates, basses, et grâce à un mécanisme particulier de formation par lequel tous les débris minéraux des hauteurs non boisées et les végétaux des marécages se rendaient attirés dans des vallées de dépôt.

Toutes sortes de théories ont été inventées en faveur de la formation sur place; de non moins bonnes raisons ont été développées à l'appui de la formation de transport. L'ignorance de la composition végétale et de la structure mécanique de la houille a laissé se produire un grand nombre de systèmes plus invraisemblables les uns que les autres.

Il est à remarquer que les premières conjectures que l'on a faites sur cette question difficile ont porté plus juste que celles qui sont survenues depuis plus de cinquante ans. Plusieurs analystes ont été ramenés à l'ancienne hypothèse, que la houille a pris naissance sous l'eau par dépôt lent

de matières végétales en partie presque dissoutes. C'est à une conclusion peu différente que convergent les résultats de toutes mes recherches sur la formation des houilles.

DEUXIÈME PARTIE

La méthode expérimentale ayant pour but la formation de la houille doit changer d'objet, s'adresser aux feuilles et écorces détrempées et aux substances ulmiques des marais tourbeux, et tenir compte des conditions réelles de la conversion, conditions que révèlent comme suit les modes de conservation des débris végétaux et qui sont très éloignées de celles des expériences faites.

La transformation en houille a commencé par les produits amylacés et s'est d'abord attaquée aux tissus cellulaires nourriciers et aux écorces. Les débris de plantes fossiles ont passé par l'état plastique et y sont restés très longtemps dans les roches ordinaires. Le degré de conversion n'est pas le même dans les différentes roches, il est moins avancé dans les schistes gris argileux, où la substance végétale des empreintes est parfois restée à un état voisin du dopplérite de Schrotter. Il n'y a pas eu transfusion du charbon des empreintes au contact des roches ; celles noircies l'ont été par la matière charbonneuse délayée apportée avec le limon. Les substances ulmiques ont formé une houille analogue à celle qui est résultée de la conversion directe des écorces et feuilles. Les tissus chlorophylliens très denses et très carburés, changés en houille, n'ont pas éprouvé une réduction de volume notable. Il en est de même des couches de houille : formées lentement d'humus, d'écorces et feuilles qui se tassaient au fur et à mesure du dépôt, leur puissance n'est pas descendue au-dessous de la moitié de l'épaisseur primitive.

Examinée par transparence, la houille amorphe ressemble à la houille organisée ; dans celle-ci, le contenu et la ma

tière incrustante délayée remplissent les tissus d'une sorte de bitume solide floconneux et jaunâtre.

La houille en masse a été une pâte homogène, elle est restée, avec une grande consistance, plus longtemps souple que les roches. La houillification a fini par une dessiccation lente qui a donné la dureté et le lustre au charbon. La conversion s'est produite sous l'influence d'actions légères qui tenaient aux conditions premières de métamorphisme : en prenant corps, en se condensant, la matière charbonneuse éliminait à faible température l'eau de mélange.

Le grisou est en quelque façon retenu dissous par les carbures, ses congénères, dans la masse brune de la houille transparente, qui abandonne facilement à l'air certaines carbures légers et renferme des carbures plus fixes de la même série forménique.

La houille est un produit à équivalent élevé de déshydratation et de désoxydation par voie humide de substances végétales enfouies; c'est un mélange de termes rapprochés mais non rejoints, comprenant, en outre, des dérivés très peu oxygénés des composés ternaires, des combinaisons azotées, phosphoreuses, sulfureuses, très complexes, ce qui est le propre d'une substance d'origine organique.

Les cendres, par leur quantité et leur nature, ont eu une certaine action dans la conversion en houille.

L'état de décomposition des débris végétaux, au moment de leur accumulation en couches, a eu une influence notable sur la qualité des combustibles; l'influence de la nature botanique des débris de plantes a été presque nulle.

La conversion en houille n'a pas parcouru lès phases transitoires marquées par les combustibles plus récents.

Le métamorphisme de la houille s'est produit sous l'action d'une faible température. Une chaleur un peu plus élevée que celle actuelle des roches a suffi pour activer la transformation, dans une mesure notable. La houillification a d'a-

bord marché rapidement sous une température souterraine plus élevée qu'aujourd'hui, surtout à une certaine profondeur. La pression ou poids des roches a peu aidé au métamorphisme des houilles. L'étanchéité du terrain, en retenant les gaz, a eu plus d'effet sur la nature des combustibles.

Au nombre des causes qui ont valu à la houille les qualités qui la distinguent avantageusement des autres combustibles minéraux, on doit compter sa formation d'écorces et feuilles, particulièrement azotées, hydrogénées et carburées, de substances ulmiques et des résidus amylacés et gommeux provenant de la désorganisation de végétaux très succulents. La température de métamorphisme seule ne suffit pas en effet pour expliquer sa nature, comparée à celle des stipites et lignites.

Il n'y a pas d'hydrocarbures libres dans les schistes houillers, les hydrocarbures libres, liquides et solides, sont d'origine minérale. Il n'y a pas eu distillation des houilles. Elles se sont peu à peu formées par la voie humide à faible température, et non par la voie sèche et le feu des expériences faites pour obtenir de la houille artificielle.

TABLE GÉNÉRALE DES MATIÈRES

I

PARTIE BOTANIQUE ET STRATIGRAPHIQUE.

II

PARTIE PHYSIQUE ET CHIMIQUE.

COMMISSION D'ÉTUDE
DES MOYENS PROPRES A PRÉVENIR LES EXPLOSIONS DE GRISOU
DANS LES HOUILLÈRES

ANALYSE SYNOPTIQUE DES RAPPORTS OFFICIELS SUR LES ACCIDENTS DE GRISOU EN FRANCE DE 1817 A 1881,

DRESSÉE AU NOM DE LA COMMISSION

Par MM. Jules PETITDIDIER et Charles LALLEMAND,
Ingénieurs au corps des Mines.

NOTE PRÉLIMINAIRE.

La commission chargée, par la loi du 26 mars 1877, de rechercher les moyens propres à prévenir les explosions du grisou dans les houillères, a compris dans son programme une statistique méthodique des accidents causés en France par ce gaz.

Les recherches de laboratoire permettent, il est vrai, de déterminer avec précision les conditions *théoriques* de l'explosion du grisou : proportions d'air et de gaz nécessaires à la formation d'un mélange détonant; température, vitesse et pression d'inflammation; nature et effets physiologiques des gaz produits; etc. Mais c'est par la statistique seule que l'on peut arriver à connaître avec quelque exactitude l'importance *pratique* des causes qui interviennen le plus généralement dans la production de ces terribles

accidents : perturbations atmosphériques; température de l'air extérieur; méthode d'exploitation; mode de production et de distribution de l'aérage; chômages périodiques ou accidentels; système de construction des lampes; emploi des explosifs dans l'abatage; présence de poussières de charbon dans l'atmosphère des chantiers; réglementation et surveillance, etc.; autant d'éléments dont il importe au plus haut degré de fixer l'influence effective au point de vue de l'accumulation ou de l'inflammation du grisou.

A l'exemple de la commission française, les commissions du grisou, anglaise, belge, saxonne et prussienne, ont entrepris, pour s'éclairer, des recherches du même genre, et quelques-unes en ont déjà même publié les résultats.

Chargés par la commission française de l'accomplissement de cette partie de sa tâche, nous avons dépouillé, pour l'exécution de notre travail, les procès-verbaux et rapports officiels des fonctionnaires de l'administration des mines, documents conservés dans les archives du ministère des travaux publics, et revêtus, pour la plupart, de l'avis du conseil général des mines.

Cette première étude a été complétée à l'aide de renseignements extraits de statistiques et de monographies locales, parmi lesquelles nous devons citer en première ligne un important travail manuscrit de M. l'ingénieur en chef Castel, sur les accidents survenus dans le bassin de Saint-Étienne et leur corrélation possible avec les variations de la pression atmosphérique. Des résumés analogues, rédigés par M. l'inspecteur général du Souich, pour divers groupes de mines, et par M. l'ingénieur Delafond, pour le bassin de Saône-et-Loire, nous ont également fourni de très utiles indications.

De cet ensemble de documents, nous avons pu extraire ainsi plus de 700 monographies d'accidents de grisou survenus, de 1817 à 1881, dans les houillères, ainsi que dans quelques mines métalliques.

Il nous a paru que le mode de groupement le plus rationnel consistait à les classer, dans l'ordre chronologique, par concession. Les concessions ont été à leur tour réunies par départements, par bassins et par groupes géographiques de bassins, en suivant, pour le classement dans chacune de ces séries, l'importance de la production en 1879, par ordre décroissant.

Nous aurions pu nous borner à donner un résumé méthodique des circonstances de chaque accident. Mais cette manière de procéder nous eût conduit forcément à des répétitions nombreuses ; nous avons préféré adopter une disposition en tableaux synoptiques, qui nous a semblé offrir de grands avantages au point de vue de la brièveté, de la clarté, et surtout de la facilité des comparaisons entre les différents accidents. Cette disposition nous a en même temps permis de condenser, dans la page de gauche de chaque tableau, tous les éléments susceptibles, dès maintenant, d'une coordination systématique, tandis que nous avons rejeté dans la page de droite, avec les détails de l'accident, les observations diverses relatées aux rapports et pouvant plus tard être utilisées pour l'étude de certains points spéciaux, sans qu'il soit nécessaire de recourir aux rapports originaux.

En résumé, nous avons relaté, pour chaque accident, toutes les fois que cela a été possible :

1° La *date* : jour, mois, année ;

2° Le *lieu :* puits ou fosse, couche ou veine, niveau ou étage ;

3° Le *nombre des victimes*, distingué en *tués* et *blessés*, avec l'indication sommaire de la nature des blessures ;

4° Le nombre total des *ouvriers* occupés *au fond*, ainsi que la *production de la mine* pendant l'année de l'accident; chiffres destinés à mieux fixer l'importance relative des accidents survenus, à diverses époques, dans une même mine ou dans des mines différentes;

5° Les *causes de l'accident*, distinguées en *causes* matérielles, ou *directes*, *de l'accumulation* et *de l'inflammation du gaz*, et en *causes* morales, ou *indirectes*, visant plus spécialement l'imprudence ou la négligence des ouvriers;

6° Enfin, dans la dernière colonne, qui occupe tout entière la page de droite de chaque tableau, nous avons consigné sous une forme succincte, et groupé systématiquement sous différentes rubriques, les *observations* diverses qu'il nous a paru intéressant de reproduire pour caractériser l'accident.

C'est ainsi que le paragraphe intitulé « *Indications générales* » fait connaître, autant que possible, l'état de l'aérage de la mine au moment de l'accident, le système de lampes employées, les diverses défenses ou mesures de précaution relatives à l'emploi de la poudre, etc.

Nous avons résumé sous le titre de « *Circonstances de l'accident* » les détails relatés aux rapports.

Les « *Remarques particulières* » renferment les éléments qui ont servi à l'appréciation des causes lointaines et immédiates de l'explosion, ainsi que les observations générales suggérées par cette discussion.

Enfin, nous avons indiqué brièvement, chaque fois qu'il y avait lieu, les « *Mesures prises à la suite de l'accident* », soit spontanément par les exploitants, soit d'office par l'administration.

En résumé, la page de gauche offre une analyse succincte des accidents, pendant que la page de droite en donne pour ainsi dire une monographie détaillée.

Nous complèterons ultérieurement cette étude en y annexant une série de tableaux numériques et de diagrammes destinés à faire ressortir la variation du nombre des accidents et de celui des victimes, pour l'ensemble du territoire et pour la période de 1817 à 1881; la part proportionnelle de chaque bassin et de chaque concession dans le nombre total; la variation du rapport du nombre

des victimes au personnel total et à l'extraction ; l'influence des saisons, des variations de la pression barométrique, des différents modes de ventilation, des systèmes d'éclairage, de l'emploi de la poudre, de la réglementation et de la surveillance, etc. En un mot, nous essayerons de mettre particulièrement en lumière, par cette sorte de synthèse, celles des causes précédemment énumérées qui, par l'importance de leur rôle, s'imposent plus spécialement à l'attention des ingénieurs et des exploitants.

En terminant cette note, qu'il nous soit permis d'acquitter une dette de reconnaissance : envers M. l'inspecteur général Daubrée, président de la Commission du grisou, qui a provoqué et dirigé de haut ces études; envers les auteurs des monographies que nous avons mises à contribution; enfin envers M. l'ingénieur en chef Keller, chef de la statistique de l'industrie minérale, qui nous a obligeamment fourni une partie des données numériques de nos tableaux, et envers M. Cheysson, directeur des cartes et plans, qui, non seulement nous a ouvert les archives dont il a la garde et communiqué les dossiers des accidents de grisou, mais encore a bien voulu nous prêter, pour la disposition générale du travail, le concours de sa grande expérience en matière de publications statistiques.

Paris, le 1[er] janvier 1882.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

(Instituée par décret

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
1	1873 17 Nov^bre	Fosse N° 3. — Nouvelle veine.	1 Brûlé.	1 Brûlé légèrement.	2139	653549	Distance trop grande laissée entre les remblais et le front d'une taille où le courant d'air avait une marche légèrement descendante.	Lampe dont le treillis était percé d'un trou de 4mm.	Imprudence de la principale victime, qui était rentrée dans la taille, malgré la défense du porion, et avec une lampe gardée, très probablement à dessein, en mauvais état.
2	1875 24 Déc^bre	Fosse N° 1. — Veine Emélie. — Etage de 243m.	»	2 Brûlés, l'un grièvement, l'autre légèrement.	2685	703436	Cavité existant au toit et près de l'avancement d'une galerie en percement légèrement montante.	Flamme projetée en fusant par la mèche d'un coup de mine placé en couronne.	Négligence des victimes, qui avaient allumé un coup de mine sans s'être préalablement assurées de l'absence du grisou dans le chantier.
3	1877 9 Juin	Fosse N° 3. — Etage de 288m.	1 Brûlé.	1 Brûlé grièvement.	2399	612760	Dégagement de grisou à l'avancement d'une bowette, provoqué par le tirage de quatre coups de mine deux heures avant l'accident.	Flamme projetée en fusant par la mèche d'un coup de mine placé en couronne.	Imprudence des victimes, qui, contrairement au règlement, avaient allumé elles-mêmes trois coups de mine, sans recourir à l'intervention du boutefeu.

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

de Lens.

du 15 Janvier 1858).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant. Le courant d'air suivait partout une marche ascensionnelle, sauf sur une dizaine de mètres, le long du front de taille où l'accident s'est produit, où il avait une faible inclinaison descendante de 0.12.

Circonstances de l'accident. — Un peu de grisou s'étant montré dans une taille, le porion fit retirer les ouvriers et leur défendit de rentrer dans leur chantier avant que les remblais, qui avaient été laissés en arrière du front de taille, eussent été avancés à une distance convenable. Pour plus de sûreté, il occupa ces ouvriers dans le voisinage. Malgré les observations de ses camarades, l'un d'eux étant allé voir si le remblai avançait, une inflammation de grisou se produisit et le brûla mortellement. L'un des autres ouvriers reçut également des brûlures légères.

Remarques particulières. — Le courant d'air avait une tendance naturelle à suivre les remblais. Par suite de la réduction de vitesse qui en résultait et de la trop grande distance laissée entre les remblais et le front de taille, celui-ci ne se trouvait plus suffisamment balayé par le courant.

La lampe de l'auteur de l'accident était du système Dubrulle. Son treillis était percé, au niveau des bagues qui servaient à le maintenir, d'un trou de 4^{mm} de côté. La veille, ce même ouvrier avait été surpris travaillant avec sa lampe ouverte; on l'avait puni d'une amende pour ce fait. Il était fumeur: du tabac et une pipe ont été trouvés dans son pantalon. Il est très probable qu'il gardait à dessein sa lampe trouée, afin de pouvoir, en l'inclinant, y allumer sa pipe.

Indications générales. — Le courant d'air, constamment ascendant, était très actif.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient à l'avancement d'une galerie légèrement montante, qui recoupait la veine Émélie à l'étage de 243^{m}. Sans s'être préalablement assurés de l'absence du grisou, ils venaient d'allumer un coup de mine à la partie supérieure du front de taille. La mèche, en fusant, mit le feu à une petite quantité de gaz qui s'enflamma avec une légère détonation et brûla les deux ouvriers, l'un fortement, l'autre légèrement. Le coup de mine ne partit que quelques minutes après.

Remarques particulières. — Le porion avait visité le chantier vingt minutes avant l'accident. Il avait trouvé un peu de grisou dans une cavité existant au toit de la galerie, à une petite distance du front de taille. Il l'avait chassé et avait recommandé aux ouvriers de s'assurer de l'absence du gaz avant d'allumer leur coup de mine.

Indications générales. — L'aérage ne laissait rien à désirer. Le courant d'air venant du puits, arrivait directement à l'avancement de la bowette du niveau de 288^{m}, puis revenait dans une gaîne jusqu'à la voie de fond, qu'il parcourait, en montant légèrement, pour atteindre les tailles. Après avoir aéré les travaux d'un niveau supérieur, il regagnait le goyau de retour de la fosse.

D'après les règlements de l'exploitation, les coups de mine devaient être allumés par un boutefeu spécial et après une inspection minutieuse du chantier.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers, travaillant à l'avancement de la bowette du niveau de 288^{m}, avaient préparé trois coups de mine à la partie supérieure du front de taille; ils les allumèrent sans réclamer l'intervention du boutefeu. Les mèches en fusant projetèrent une petite flamme qui mit le feu à une faible quantité de grisou. Les deux ouvriers furent brûlés grièvement; l'un d'eux mourut des suites de ses blessures

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
							Causes directes		Causes indirectes.
			Tués.	Blessés.			de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						Tonnes			

2. — Concession de

(Instituée par décret

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	1870 13 Juillet	Fosse N° 2. — Veine N° 15.	»	4 Brûlés légèrement.	971	206244	Insuffisance accidentelle de l'aérage d'un quartier par suite d'un défaut d'installation d'une porte, à la réparation de laquelle, d'ailleurs, on travaillait. Descente d'une partie du gaz, accumulé dans une taille supérieure, dans une cheminée voisine à la suite d'une manœuvre faite pour activer le courant d'air.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de l'une des victimes qui avait ouvert sa lampe.
5	1872 22 Juin	Fosse N° 2. — Veine N° 6. — Etage de 283m.	»	1 Brûlé légèrement.	1906	204936	Cloche située au toit et à l'entrée du retour d'air d'une taille.	Lampe Dubrulle maniée imprudemment.	Imprudence de la victime qui avait présenté sa lampe à l'ouverture de la cloche.

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

de Lens (suite).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — Deux heures avant l'accident, quatre coups de mine avaient été tirés dans le même chantier, et les dislocations qu'ils avaient produites avaient sans doute facilité le dégagement du gaz.

Bully-Grenay.

du 15 Janvier 1858).

Indications générales. — L'aérage général était convenablement assuré par un ventilateur Guibal de 7^m de diamètre, marchant jour et nuit à la vitesse de 40 à 50 tours par minute. La distribution de l'air était bonne.

Circonstances de l'accident. — Du grisou s'était montré dans la troisième taille ou taille supérieure d'un quartier de la veine N° 15, par suite d'un ralentissement du courant d'air attribué à un défaut d'installation d'une porte d'aérage placée dans la voie supérieure de la 2me taille. Deux ouvriers travaillaient à rendre étanches les joints de cette porte; deux autres étaient occupés dans une cheminée mettant cette voie en communication avec la voie inférieure où on ne constatait pas de grisou. L'un de ces derniers, croyant d'ailleurs sentir un courant d'air plus vif, eut l'imprudence d'ouvrir sa lampe Mueseler pour allumer une pipe. Une explosion se produisit et les deux ouvriers furent brûlés légèrement La porte derrière laquelle se trouvaient les deux premiers ayant été détériorée par l'explosion, ceux-ci furent également brûlés.

Remarques particulières. — Un peu avant l'accident, le porion ayant fait jeter de l'eau dans le puits d'entrée d'air pour activer l'aérage, l'impulsion brusque donnée au courant eut sans doute pour effet de chasser dans la cheminée, dont la partie supérieure était voisine du retour d'air des tailles, une partie du gaz accumulé dans la troisième taille.

Indications générales — L'aérage était satisfaisant.
Il était obtenu au moyen d'un ventilateur Guibal de 7^m de diamètre et de 2^m de largeur, faisant de 50 à 55 tours par minute avec une dépression de 2 centimètres de mercure. Le courant d'air arrivait par la voie de fond de 283^m, se divisait entre toutes les tailles de cet étage, aérait ensuite les tailles du niveau de 276^m et revenait au bure d'aérage établi, au niveau de 257^m, à côté du puits. Sa marche était donc constamment ascensionnelle.

Circonstances de l'accident — Un ouvrier arrivait à son travail dans une taille de la veine N° 6. Croyant avoir laissé la veille un de ses outils sur la saillie d'une cavité en forme de cloche, produite par un relèvement de la veine à l'entrée du retour d'air de la taille, il éleva sa lampe Dubrulle à la hauteur de la tête pour le découvrir. Aussitôt une petite explosion toute locale se produisit, et le brûla légèrement. Un autre ouvrier, placé à 2^m de lui, ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — La lampe, qui avait été jetée par la victime et dont le treillis, après l'accident, était percé d'un trou de 4^{mm}, avait très probablement été remise en bon état à l'ouvrier. Le mouvement qu'il donna à cette lampe en cherchant son outil a été considéré comme la cause de l'inflammation.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

2. — Concession de

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
6	1874 25 Mars	Fosse N° 4. — Travaux de reconnaissance de la veine Saint-Victor. — Etage de 376m.	5 dont 4 brûlés ou asphyxiés et 1 enseveli sous un éboulement.	1 Asphyxié.	1546	Tonnes 249046	Obstruction de l'orifice supérieur d'une cheminée de retour d'air. Disposition vicieuse donnée au courant d'air qui, déjà chargé de gaz, parcourait avec une marche descendante un chantier en activité.	Chute probable d'une lampe à simple treillis dans la cheminée.	Double imprudence de deux des victimes, qui avaient placé des planches sur l'orifice de la cheminée de retour d'air, et qui avaient persisté à travailler dans le grisou, contrairement au règlement. Maladresse de l'une d'elles, qui a dû très probablement laisser tomber sa lampe dans la cheminée. Disposition fâcheuse de la cheminée, dont l'orifice, situé seulement à 1m 10 de l'avancement de la voie supérieure, ne laissait pas une place suffisante pour le travail simultané de deux ouvriers; ce qui a provoqué de leur part l'imprudence cause de l'accident.

3. — Concession

(Instituée par décret

7	1874 31 Juillet	Fosse N° 2. — Veine Hortense — Etage de 290m.	2 Brûlés.	»	2184	418409	Distance trop grande laissée entre les remblais et le front d'une taille montante où passait le courant d'air; ce qui avait permis l'accumulation du gaz pendant l'intervalle de deux postes.	Lampes à feu nu.	Imprudence des victimes, qui, malgré l'ordre du porion, n'avaient pas avancé les remblais près du front de taille.

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

Bully-Grenay *(suite)*.

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général était convenablement assuré par un ventilateur Guibal de 7^{m} de diamètre, produisant une dépression normale de 30 à 40 c. d'eau pour une extraction journalière de 135 tonnes.

On n'avait jusque là constaté que fort peu de gaz dans la fosse et en particulier dans la veine St-Victor. Malgré cela des visites fréquentes y étaient faites par un surveillant spécial, remplissant en même temps l'office de boutefeu.

Les ouvriers étaient munis de lampes Davy ordinaires.

Les travaux de reconnaissance, dans une partie d'ailleurs très inclinée de la veine, consistaient en deux niveaux, distants verticalement d'environ 3 mètres et entre lesquels on pratiquait successivement des cheminées très rapprochées. Ces cheminées étaient remblayées au fur et à mesure, de manière à faire passer l'air dans la dernière, la plus rapprochée des fronts d'avancement des deux voies. L'air, après avoir parcouru déjà quelques travaux, arrivait par la voie supérieure et descendait dans la voie de fond pour se rendre ensuite au puits par une bowette.

Circonstances de l'accident. — Cinq ouvriers étaient occupés dans ces travaux de reconnaissance : un à l'avancement de la bowette, deux à celui de la voie de fond et deux à celui de la voie supérieure. Le front de taille de cette dernière n'était qu'à 1^{m} 10 de distance de l'orifice supérieur de la cheminée. Les deux ouvriers qui y travaillaient, se trouvant gênés, établirent des planches sur cet orifice, pour pouvoir, en s'y échafaudant, forer commodément un trou de mine au toit de la galerie. — A 2 h. de l'après-midi, une forte explosion se produisit, à la suite de laquelle on retrouva au voisinage du pied de la cheminée les cadavres de quatre des victimes. Le 5e ouvrier, ayant pu commencer à fuir, fut retrouvé en vie et se rétablit. Un autre ouvrier fut enseveli dans sa fuite sous les débris d'un carnet d'aérage en maçonnerie, qui existait à l'avancement de la bowette et qui était éboulé sur une longueur de 8 mètres à la suite de l'explosion.

Remarques particulières. — Les dégâts matériels ont été peu considérables.

Le matin même de l'accident, le surveillant n'avait, dans sa visite, trouvé de grisou nulle part.

On a retrouvé, au pied de la cheminée, une lampe dont la boîte défoncée indiquait manifestement une chute. Le seul témoin survivant de l'accident a avoué que l'un de ses camarades avait laissé tomber sa lampe dans la cheminée.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à organiser à l'avenir les travaux d'exploration de telle sorte que l'air aille toujours en montant, dans les chantiers fréquentés par les ouvriers. Leur attention a été également appelée sur l'insuffisance des lampes à simple treillis.

de Nœux.

du 15 Janvier 1853).

Indications générales. — L'aérage était actif et assuré par un ventilateur Guibal de 9^{m} de diamètre. L'air arrivait au front de taille par une cheminée ménagée dans les remblais et redescendait par un plan incliné.

Le grisou ne s'était pas encore montré d'une manière sensible dans les mines de Nœux. On ne s'y servait que de lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers, munis de lampes à feu nu, arrivaient à leur travail, au front d'une taille montante inclinée de 15° et contiguë à un accident de la veine, lorsqu'ils furent renversés et brûlés mortellement par une explosion de grisou dont les effets dynamiques furent d'ailleurs presque nuls.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

3. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
8	1876 23 Mars	Fosse N° 1. — Veine Saint-Charles. — Etage de 350m.	»	1 Brûlé légèrement.	2315	444880	Dégagement d'un peu de gaz au toit d'un montage de 14m, en cul-de-sac, et provisoirement abandonné.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime qui s'était rendue, avec une lampe à feu nu, dans un étage où ce type de lampes était proscrit.
4. — Concession (Instituée par décret									
9	1873 24 Mars	Fosse N° 1. — Veine N° 8. — Etage de 277m.	»	1 Brûlé très-légèrement.	959	210562	Suspension du travail, pendant un jour de chômage, à l'avancement d'un plan incliné en cul de sac de 53m de longueur, aéré par une colonne de tuyaux qui arrivait à 7m du front de taille, voisin lui-même d'une taille.	Lampe à feu nu.	»

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

de Nœux (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — Les remblais, qui devaient forcer l'air à passer devant le front de taille, se trouvaient à 5m 50 en arrière. La veille, le porion les ayant trouvés à 3m 50, avait donné l'ordre de les avancer jusqu'à 1m du front; mais cet ordre n'avait pas été exécuté.

Après l'accident, on n'a pas retrouvé de grisou dans le chantier où l'explosion avait eu lieu.

Indications générales. — La veine St-Charles était la seule veine de la fosse qui dégageât du grisou. Le charbon y était de qualité inférieure et le toit, très mauvais, donnait assez de gaz.

Tous les ouvriers du niveau de 350m étaient munis de lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — A 11m de l'entrée de la voie de fond, dans la bowette sud de 350m, on avait ouvert un montage pour aller rejoindre un bure. Il se dégageait un peu de grisou du toit de ce montage et on avait été conduit à établir, pour l'aérer, un ventilateur à bras à l'entrée de la voie de fond et une colonne de tuyaux, qui arrivait jusqu'au front de la remonte dont la longueur atteignait alors 14m. Ce travail était provisoirement abandonné. Un ouvrier de l'étage supérieur, voulant aller reprendre à ce niveau des outils qu'il y avait laissés, y descendit avec sa lampe à feu nu qu'il échangea à l'accrochage contre une lampe de sûreté. Avant de pénétrer dans le montage, il fit tourner le ventilateur pour l'assainir. Au bout de quelques instants le grisou, chassé du montage, vint prendre feu sur la lampe à feu nu, qu'un envoyeur avait amenée à l'entrée de la voie de fond, pour être mieux éclairé. L'ouvrier fut légèrement brûlé; les autres mineurs du voisinage ne furent pas atteints.

Mesures prises à la suite de l'accident. — La Compagnie a présenté à l'Administration un projet de réglementation de l'éclairage dans les travaux grisouteux, d'après lequel le service des lampes à l'accrochage devait être confié à un ouvrier spécial.

de Bruay.

du 29 Décembre 1855).

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. La fosse était desservie par un ventilateur Guibal de 7m de diamètre, marchant à 50 tours par minute avec une dépression de 2 centimètres de mercure. Après avoir parcouru les tailles de la veine N° 7, l'air arrivait dans la veine N° 8 par un recoupage; une porte le forçait à passer dans une colonne de tuyaux de 0m 35 de diamètre qui le conduisait, par le niveau de 277m et le plan incliné, à 7m environ de l'avancement de celui-ci. Il revenait ensuite par les mêmes galeries dans le recoupage, puis gagnait par un bure et une voie de retour d'air le compartiment d'aérage de la fosse, au niveau de 188m.

Le grisou ne s'était jamais montré dans la veine N° 8 à ce niveau; on ne s'y servait que de lampes à feu nu. Il avait toutefois été reconnu dans la même couche au niveau de 235m, mais en si faible quantité qu'on n'avait pas cessé d'y employer les lampes ordinaires.

Circonstances de l'accident. — Après un jour de chômage, trois ouvriers se rendaient à leur travail à l'avancement du plan incliné. Ils portaient leurs lampes à feu nu suspendues à leur chapeau. Celui qui marchait en avant se trouva subitement enveloppé de flammes en arrivant à 8 mètres du front de taille, et fut très légèrement brûlé. Sa lampe avait enflammé une petite quantité de grisou au ciel de la galerie. Les deux autres ouvriers qui marchaient à quelques mètres en arrière du premier ne furent pas atteints.

A — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

4. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			

5. — Concession

(Instituée par décret

Nos d'ordre.	DATE de l'accident.	LIEU de l'accident.	Tués.	Blessés.	OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	Causes indirectes.
10	1868 25 Novbr	Fosse de Liévin ou N° 1. — Veine Sainte-Victoire. — Etage de 283m.	2 Brûlés.	7 Brûlés.	453	39841	Insuffisance de ventilation à l'avancement d'une voie de fond, qui venait de franchir un accident et dont les 8 derniers mètres n'étaient aérés que par diffusion.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence d… deux ouvriers q… avaient tiré … coup de mine sa… en avoir reçu l'… torisation du m… tre - porion … malgré la défe… du porion.
11	1868 23 Décbre	Fosse de Liévin ou N° 1.	»	»	453	39841	?	Flamme d'un coup de mine.	Imprude… d'un ouvrier q… partir un co… mine malgré … défense qui l… avait été faite…

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

de Bruay (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — Le front de taille approchait d'une faille. C'est sans doute au voisinage de celle-ci qu'il faut attribuer le petit dégagement de gaz qui a occasionné l'accident.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les lampes de sûreté ont été adoptées dans les travaux de la veine N° 8 et les exploitants ont été invités à achever le percement du plan incliné en partant du niveau supérieur.

de Liévin.

du 15 Septembre 1862).

Indications générales. — La voie de fond en percement au niveau de 283^m dans la veine St-Charles avait atteint 88^m de longueur ; depuis quelques mètres elle avait franchi un accident et se trouvait dans la veine Ste-Victoire abaissée par celui-ci au niveau de la première veine.

L'air, arrivant du puits St-Charles, suivait la voie de fond, jusqu'à 8^m du front de taille, puis passait par une cheminée dans les travaux supérieurs de la veine Ste-Victoire. Les 8 derniers mètres de la voie de fond n'étaient aérés que par diffusion et le grisou se montrait à l'avancement. Mais cette voie était sur le point de percer dans les travaux déjà exécutés dans la veine Ste-Victoire. Il ne restait plus pour cela que 0^m 50 de charbon à enlever.

D'après le règlement, les ouvriers ne devaient pas tirer de coup de mine sans en avoir reçu l'autorisation du maître-porion.

Circonstances de l'accident. — Le porion avait défendu aux deux ouvriers qui travaillaient à l'avancement de la voie de fond de tirer deux coups de mine que les mineurs du poste précédent y avaient préparés. Néanmoins ces ouvriers, après avoir agité leurs vêtements pour chasser le gaz, allumèrent l'un des coups. Celui-ci ayant raté, ils revinrent au bout d'un quart d'heure, mirent le feu à l'autre et se réfugièrent dans les travaux supérieurs de la veine Ste-Victoire en passant par la cheminée située à 8^m du front de taille. Le départ du coup de mine fut accompagné d'une explosion de grisou. Les flammes, suivant le courant d'air, s'engagèrent dans la cheminée et vinrent brûler l'un des ouvriers, ainsi que huit autres placés dans une taille de la veine Ste-Victoire. Deux d'entre eux moururent des suites de leurs blessures.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, malgré la défense qui lui en avait été faite, fit partir un coup de mine au fond d'une amorce de galerie descendante. Une petite quantité de grisou qui se trouvait à la tête de cette galerie dans une voie d'aérage, s'enflamma au moment du départ du coup. Les ouvriers d'une taille voisine aperçurent une petite flamme qui s'éteignit instantanément ; personne ne fut atteint.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

5. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
12	1871 12 Juin	Fosse N° 1. — Veine François-Levant. — Etage de 3[illegible]5m.	»	7 Brûlés légèrement.	542	90950	Suspension du travail, pendant le chômage du dimanche, dans une taille voisine d'un accident et aérée provisoirement au moyen de buses.	Lampe dont le treillis était accidentellement percé d'un trou de 3mm.	Cause fortuite.
13	1871 3 Juillet	Fosse N° 2. — Veine Marie.	2 Brûlés.	3 Brûlés légèrement.	542	90950	Disposition vicieuse de l'aérage. Mauvais emploi d'un ventilateur à bras, disposé de telle manière qu'il ne faisait que brasser le mélange d'air et de gaz.	? Allumettes enflammées par des enfants. Sortie de la flamme hors du treillis d'une lampe de sûreté.	? Imprud[illegible] ou imprévoya[illegible] de deux des vi[illegible] times qui se [illegible] raient [illegible] d'allumettes ch[illegible] miques, ou [illegible] raient placé [illegible] précaution [illegible] lampe de [illegible] au débouché d'[illegible] ventilateur.

I. — GROUPE DU NORD.

I. — Département du Pas-de-Calais.

de Liévin (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — La fosse était desservie par un ventilateur Fabry et l'aérage général, amélioré depuis plusieurs années, était ordinairement bon.

Tous les ouvriers de la fosse étaient munis de lampe de sûreté à cylindre de verre.

Circonstances de l'accident. — Une petite quantité de grisou s'était accumulée, pendant le chômage du dimanche, dans le haut d'une taille suivie en reconnaissance au-delà d'un accident et aérée provisoirement au moyen de buses. Le lundi matin un porion et six ouvriers se mettaient en mesure de le chasser à l'aide d'un ventilateur à bras. Celui-ci venait d'être placé au point jugé le plus convenable à la suite d'une première inspection de chantier, lorsque le porion, voulant encore constater la présence du grisou, éleva lentement sa lampe vers le ciel de la galerie. Le gaz prit feu subitement et brûla légèrement le porion et les 6 ouvriers. Tous revinrent ensemble à l'accrochage et le porion, examinant alors sa lampe, reconnut que le treillis métallique en était percé d'un trou de 3^{mm}.

Remarques particulières. — La taille où s'est produit l'accident, n'était aérée provisoirement que par deux buses de 0^m 35 de diamètre, placées vers le haut de la galerie. L'air, parvenu ainsi à la partie supérieure de la taille, avait ensuite à redescendre sur une petite étendue pour revenir à la voie qui devait le ramener au puits. Cette situation devait être prochainement améliorée par le percement d'une voie nouvelle d'aérage.

Pendant le travail, l'air de la taille se trouvant plus ou moins agité, le grisou ne marquait pas à la lampe.

Le lampiste a affirmé avoir remis en bon état au maître-mineur la lampe cause de l'accident. Celui-ci a lui-même déclaré l'avoir visitée avant de s'en servir et n'y avoir rien remarqué de défectueux.

On a présumé que la perforation du tamis avait été produite, pendant le transport et la mise en place du ventilateur, par le choc de la lampe contre un des marteaux à pointe auprès desquels on l'avait posée.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à hâter l'exécution des améliorations projetées par eux relativement à l'aérage des travaux du levant de la veine François.

Indications générales. — La fosse était desservie par un ventilateur Guibal de 7^m de diamètre, marchant jour et nuit et pouvant assurer un aérage convenable. Mais le courant d'air, arrivé au sommet des tailles, devait redescendre, sur une certaine longueur, suivant l'inclinaison de la veine. Il est vrai que cette inclinaison ne dépassait pas 5 à 6°. De plus une partie du courant pouvait ne pas passer dans les tailles, et se rendre directement à la voie de retour d'air, faute de fermeture convenable à une galerie aboutissant à cette voie.

Les ouvriers étaient munis de lampes Boty.

Circonstances de l'accident. — Deux tailles, poursuivies en reconnaissance, donnaient un dégagement de grisou que le courant d'air n'enlevait pas complètement, surtout pendant les interruptions de travail. On cherchait à chasser le gaz, avant la descente des ouvriers, au moyen d'un ventilateur à bras.

Après un jour de chômage, deux enfants étaient occupés à tourner le ventilateur lorsqu'une explosion se produisit. L'un d'eux avait cessé de vivre quand on arriva près de lui; l'autre ne tarda pas à expirer. Les trois ouvriers d'une taille inférieure, qui arrivaient à leur travail par la voie de fond et se trouvaient près de leur chantier, furent légèrement brûlés.

Remarques particulières. — Le ventilateur à bras, employé pour assainir les tailles, reprenait dans la voie de fond l'air qui sortait de ces tailles et l'y renvoyait de nouveau. Il ne faisait ainsi que brasser le mélange de gaz et d'air et, par sa disposition, il gênait peut-être la ventilation générale plutôt qu'il n'y aidait.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

5. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
14	1871 12 Déc^bre	Fosse N° 1. — Veine François-Levant. — Etage de 345m.	»	3 Brûlés légèrement.	542	99960	Faille dégageant un peu de grisou et accumulation du gaz au haut d'une taille qu'elle bordait, par suite de la marche légèrement descendante du courant d'air à partir de ce point.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de deux ouvriers qui, contrairement au règlement, avaient allumé un coup de mine sans l'autorisation du porion, et malgré l'interdiction de l'ingénieur.
15	1873 4 Mars	Fosse N° 1. — Veine Eugène. — Etage de 345m.	»	1 Brûlé légèrement.	693	146787	Dégagement d'une petite quantité de grisou de deux soufflards, dans une galerie desservant une taille.	Allumage de la fusée de sûreté d'un coup de mine avec de l'amadou.	Imprudence d'ouvriers qui avaient allumé un coup de mine malgré la défense du porion.

1. — GROUPE DU NORD.

1. — Département du Pas-de-Calais.

de Liévin (suite).

OBSERVATIONS.
11
La cause de l'accident est restée obscure : on l'a attribuée à des allumettes dont les enfants se seraient imprudemment servis, ou plus probablement, à une lampe placée sans précaution au débouché du ventilateur.
Indications générales. — La fosse était desservie par un ventilateur Fabry donnant 12 m. cub. d'air par seconde ; ce qui, pour une production journalière de 3,600 hectolitres, assurait convenablement l'aérage. Toutefois le courant d'air, après avoir suivi une marche ascensionnelle jusqu'au sommet de la taille grisouteuse, où s'est produit l'accident, devait provisoirement redescendre dans les tailles suivantes placées au-delà. Mais sa marche ne présentait qu'une faible pente, la veine ayant 8 à 9° au plus d'inclinaison. Cet état de choses devait être prochainement amélioré par le percement d'une galerie et d'un beurtiat destinés à raccourcir le parcours de l'air et à diminuer les pertes, et par le remplacement du ventilateur Fabry par un ventilateur Guibal donnant 40 m. cub. d'air par seconde. Le règlement de la mine interdisait de faire usage de la poudre sans l'autorisation du porion. — L'emploi de cet explosif était d'ailleurs interdit par l'Ingénieur, dans la taille où s'est produit l'accident ainsi que dans les tailles suivantes. **Circonstances de l'accident.** — Deux ouvriers travaillaient dans une taille bordée par un accident qui dégageait un peu de grisou vers l'angle supérieur. Ils y allumèrent un coup de mine qui mit le feu au gaz. Eux-mêmes ne furent pas atteints, mais un boiseur et deux raccommodeurs qui travaillaient à proximité, dans le retour d'air de cette taille, furent légèrement brûlés. L'inflammation ne se propagea pas aux tailles suivantes. **Remarques particulières.** — Dans une visite faite au chantier deux heures avant l'accident, le porion n'y avait constaté aucune trace de gaz. **Mesures prises à la suite de l'accident.** — Les exploitants ont été invités à hâter le remplacement projeté par eux du ventilateur Fabry de la fosse N° 1 par un ventilateur Guibal.
Indications générales. — La mine était desservie par un ventilateur Guibal de 9^m de diamètre, marchant avec une vitesse de 36 tours par minute, donnant une dépression de 2 centimètres 1/2 de mercure, et pouvant assurer un aérage suffisant. Le courant d'air, constamment ascensionnel dans les six tailles qu'il parcourait, redescendait au sortir de la dernière, près de laquelle l'accident s'est produit, mais avec une inclinaison de 6° seulement. Il gagnait ensuite un beurtiat où il descendait sur une profondeur de 12^m, puis remontait par une série de bures jusqu'au niveau de 160^m, où il se rendait au compartiment d'aérage de la fosse. Mais, vu l'énergie du ventilateur et la faible quantité de grisou que donnait généralement la mine, cette marche légèrement descendante du courant d'air ne pouvait pas compromettre la dernière taille. **Circonstances de l'accident.** — Deux ouvriers recoupaient le mur d'une voie desservant la dernière d'un groupe de six tailles. Le porion ayant constaté la présence d'une petite quantité de grisou qui se dégageait de deux soufflards voisins du point ou travaillaient les ouvriers, leur défendit de tirer à la poudre. Ceux-ci préparèrent néanmoins un coup de mine ; mais au moment où l'un d'eux mettait, avec de l'amadou, le feu à la fusée de sûreté, le gaz qui se trouvait dans la galerie s'enflamma. Une traînée de flammes se propagea vers les soufflards et vint brûler légèrement l'autre ouvrier, placé à 10^m du coup de mine et en arrière des soufflards.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

5. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
16	1873 23 Mai	Fosse N° 1. — Veine Eugène. — Etage de 315m.	»	5 Brûlés.	693	146787	Ralentissement accidentel produit, dans le courant d'air d'une taille, par un éboulement survenu dans la voie de retour d'air de cette taille.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de quatre des victimes qui avaient tiré un coup de mine malgré la défense du porion
17	1877 22 Févr.	Fosse N° 1. — Veine François	3 Brûlés.	10 Brûlés.	840	157988	Soufflard ouvert au moment du départ d'un coup de mine.	Flamme d'un coup de mine qui, après avoir débourré deux fois, partit sans produire grand effet.	Cause fortuite.

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

de Liévin (suite).

OBSERVATIONS.

11

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à organiser un service spécial de boutefeux pour l'allumage des coups de mine.

Indications générales. — Les travaux étaient aérés au moyen d'un ventilateur Guibal, établi sur le goyau d'aérage du puits, et débitant 25 m. cub. d'air par seconde. Le courant d'air était ascensionnel dans tout le parcours des tailles ; il ne descendait que sur une hauteur de 12^m dans un beurtiat situé au delà de la dernière taille. Sa vitesse était suffisante pour balayer le peu de grisou qui se dégageait.

Circonstances de l'accident. — Un éboulement étant survenu dans la voie de retour d'air d'une taille, le porion, bien que le grisou ne s'y montrât pas, avait défendu aux quatre ouvriers qui y travaillaient de faire usage de la poudre. Malgré cette défense, les ouvriers tirèrent trois coups de mine à *trois* reprises différentes. Le dernier détermina l'inflammation d'une petite traînée de gaz le long du toit d'une galerie aboutissant à la taille, et dans laquelle les ouvriers s'étaient réfugiés. Deux d'entre eux furent brûlés assez grièvement ; les deux autres le furent légèrement, ainsi qu'un cinquième ouvrier qui se trouvait près d'eux.

Remarques particulières. — Le ralentissement du courant d'air, résultant de l'éboulement, avait permis au gaz dégagé depuis le départ du second coup de mine, de s'accumuler en faible quantité au toit de la galerie.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont institué immédiatement des boutefeux pour l'allumage des coups de mine.

Indications générales. — L'aérage était complètement satisfaisant. Le courant entrait par la fosse N° 1, arrivait aux tailles par la voie de fond, les suivait toutes en montant, et sortait par la fosse N° 5.

Circonstances de l'accident. — On entaillait, dans le voisinage d'une taille, la sole d'une voie y aboutissant. Un coup de mine, ayant débourré deux fois, fut chargé une troisième fois et allumé par le boutefeu, après une nouvelle visite du chantier. Il partit sans produire grand effet. Son départ fut accompagné d'une explosion de grisou qui brûla plus ou moins grièvement 13 ouvriers occupés dans la taille ou dans les tailles voisines, 3 d'entre eux succombèrent des suites de leurs blessures.

Le gaz enflammé suivit le courant d'air, le long de 3 ou 4 tailles, sur une cinquantaine de mètres. Aucun éboulement ne se produisit ; le courant d'air ne fut pas dérangé.

Remarques particulières. — Avant l'accident, la présence du grisou n'avait été reconnue dans aucune des tailles ; après, on en constatait au contraire des quantités notables. Le gaz a dû se dégager d'un soufflard ouvert au moment même du départ du coup de mine.

Les deux premiers coups, partis en débourrant, avaient pu, en déterminant des dislocations intérieures, mettre le trou de mine en communication avec un réservoir de gaz.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

6. — Concession

(Instituée par décret

N° d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
18	1879 14 Janv.	Fosse N° 1. — Veine Achille. — Etage de 405m.	»	1 Brûlé assez grièvement.	1205	151358	Aérage à rabat-vent dans une taille montante où se trouvait un chantier avançant de 2m sur le front général de la taille.	Lampe de sûreté dont le treillis était percé d'un trou de 5mm.	»
19	1880 7 Février	Fosse N° 2. — Veine Saint-Victor. — Etage de 333m.	1 Brûlé.	1 Brûlé légèrement.	1185	187052	Suspension du travail dans une taille pendant l'intervalle de deux postes.	Lampe Dubrulle, incomplètement vissée et dont le verre avait un jeu de 1 centimètre.	Imprudence de la principale victime qui était entrée dans sa taille avec une lampe incomplètement fermée et qu'il avait très probablement mise avec intention dans cet état.

7. — Concession

(Instituée par décret

N° d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
20	1874 28 Janv.	Fosse de Fléchinelle. —	»	4 Brûlés légèrement.	272	35673	Ouverture probable, par un coup de mine, d'une poche de gaz à	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de 2 des victimes qui avaient tiré un coup de mine sans

1.° — GROUPE DU NORD.

2. — Département du Pas-de-Calais.

de Ferfay.

du 29 Décembre 18[illegible]).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général était défectueux. L'air entrait par la fosse N° 1, au niveau de 465^m, se rendait au sommet des tailles montantes à 383^m, puis redescendait le long de ces tailles et par un bure qui le ramenait à l'étage de 465^m où il se rendait au goyau d'aérage.

Cette défectuosité de l'aérage était appelée à disparaître par l'achèvement d'une galerie qui, en reliant le niveau de 363^m au sommet des tailles montantes, devait assurer au courant d'air une marche constamment ascensionnelle.

Circonstances de l'accident. — Plusieurs ouvriers travaillaient à l'avancement d'une taille montante qui donnait très peu de grisou. Le chantier de l'un des ouvriers était en avance de 2^m sur le front de taille général. Cet ouvrier venait de chercher un bois et se préparait à le poser, après avoir placé sa lampe sur le charbon abattu, lorsqu'une légère explosion de grisou se produisit et le brûla assez grièvement. Le bruit de l'explosion fut à peine comparable à celui d'un bec de gaz qu'on allume. La flamme ne sortit pas du chantier, et les autres ouvriers de la taille ne la virent pas ; le plus rapproché sentit seulement un vent très chaud.

Remarques particulières. — La lampe de l'ouvrier blessé avait à son tamis un trou de 5^{mm}, produit par le poinçon destiné à l'accrocher.

Une heure avant l'accident, le grisou ne marquait pas à la lampe dans le chantier.

Indications générales. — Le courant d'air, arrivant par le puits au niveau de 420^m, avait une marche constamment ascendante jusqu'au niveau de 295^m (en passant en particulier dans la taille où l'accident s'est produit), mais devait redescendre ensuite au niveau de 333^m pour atteindre le bure d'aérage.

Le volume d'air introduit correspondait à 30 litres par ouvrier et par seconde.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier arrivait au travail dans son chantier. Au moment où il élevait sa lampe Dubrulle pour examiner le toit, une légère explosion de grisou se produisit et le brûla mortellement. La flamme descendit un plan incliné partant de la taille et causa des brûlures légères à un ouvrier qui se trouvait dans un niveau inférieur. Un troisième ouvrier, placé dans la taille même, mais de l'autre côté du plan incliné, ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — La lampe qui a occasionné l'explosion n'était pas vissée complètement; le verre avait un jeu de 1 centimètre. L'ouvrier l'avait probablement mise dans cet état avant de venir au chantier, afin de pouvoir l'éteindre sans l'ouvrir.

---

de Fléchinelle.

du 21 Août 1858).

Indications générales. — Pas de renseignements sur l'aérage général.

● La mine de Fléchinelle ne dégageait qu'une faible quantité de grisou. Le porion autorisait ou défendait le tirage à la poudre en faisant sa visite et les ouvriers devaient eux-mêmes inspecter leur chantier avant d'allumer les coups de mine.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

7. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
		Veine Marquise — Etage de 230m.					l'avancement d'une recherche poursuivie dans un crain de la couche, et où l'aérage ne se faisait que par diffusion.		s'être assurées préalablement de l'absence du grisou dans leur chantier, comme le leur prescrivait le règlement.
21	1880 20 Juillet	Veine Gabrielle. — Etage de 350m.	1 Asphyxié.	»	267	46583	Chantier en forme de cloche, partiellement fermé par un plancher à sa partie inférieure, et aéré seulement par diffusion.	*Asphyxie par le grisou sans inflammation du gaz.*	Négligence présumée de la victime qui n'aurait pas fait, en arrivant à son chantier, les vérifications recommandées par les règlements de l'exploitation.

8. — Concession

(Instituée par décret

7	1868 *Février	Mine d'Oignies. —	4 Brûlés ou contusionnés.	1 Brûlé grièvement.	120	20152	Insuffisance de ventilation dans deux ouvrages percés en remonte, à un étage où	? Lampe dont le tamis aurait rougi, ou dont la flamme	? Imprudence d'une des victimes dans l'emploi d'une lampe de sûreté

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

de Fléchinelle (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Dans la voie de fond en percement à l'étage de 230m, la veine Marquise se trouvait en crain depuis 18m. A 2m 50 du front de taille, une variation d'allure du terrain avait fait amorcer une petite recherche latérale.

Le maître-porion, ayant constaté l'absence du grisou dans ce chantier, y avait permis le tirage à la poudre. Les deux ouvriers travaillant à cette recherche y avaient déjà tiré deux coups de mine après l'avoir préalablement inspectée. Deux heures plus tard, ils en tirèrent un troisième sans prendre les mêmes précautions. Le départ du coup fut accompagné d'une petite explosion de grisou qui brûla légèrement les deux ouvriers réfugiés au front de taille de la voie de fond et deux autres ouvriers situés dans cette même voie, à 21m et à 27m de la recherche.

Remarques particulières. — La voie de fond n'était aérée que par diffusion sur ses 18 derniers mètres. Le gaz s'était très-probablement dégagé d'une poche ouverte par le second coup de mine.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à charger un surveillant spécial de l'allumage des coups de mine.

Indications générales. — L'aérage général était très satisfaisant.

La veine Gabrielle avait dans la région de l'accident, 0m30 à 0m 40 de puissance et une inclinaison de 70°.

Circonstances de l'accident. — On avait préparé au-dessus du niveau de retour d'air d'un groupe de 5 tailles chassantes, une 6e taille. Pour rectifier la marche du courant d'air qui, à partir du sommet de cette dernière, devait redescendre sur quelques mètres pour gagner la voie de retour, on avait amorcé au haut de la taille une nouvelle voie de niveau. Cette amorce ne consistait encore qu'en une cloche de 2m de hauteur et 2m de diamètre, dans laquelle un seul ouvrier, monté sur un échafaudage, pouvait travailler. Ce dernier venait d'arriver à son travail, lorsqu'on le trouva dans cette cloche, complètement asphyxié.

Remarques particulières. — Le courant d'air montait le long des 5 tailles et arrivait dans la voie de roulage de la 6e ; une porte le forçait à s'élever jusqu'au sommet de celle-ci, pour redescendre ensuite de l'autre côté des remblais et regagner la voie de roulage qui le ramenait au puits.

La lampe de la victime a été retrouvée intacte au bas de l'échafaudage. On a présumé qu'une petite quantité de grisou s'était accumulée dans cette cloche, pendant le changement de poste, et en avait rendu l'atmosphère irrespirable. Le mineur en arrivant à son chantier aurait négligé de faire les vérifications d'usage et aurait été simplement asphyxié par le gaz.

---

d'Ostricourt.

du 19 Décembre 1860).

Indications générales. — L'aérage des travaux de la fosse était bon, sauf à l'étage de 354m qui n'était pas encore en communication avec l'étage supérieur et avec le goyau d'aérage, et où le renouvellement de l'air ne se faisait que par diffusion.

La veine, dans laquelle était ouvert le nouvel accrochage du niveau de 354m, avait 0m 80 de puissance et 4° d'inclinaison. On y avait reconnu la présence du grisou.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

8. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
		Fosse N° 2. — Étage de 354m.				Tonnes	le renouvellement de l'air ne se faisait que par diffusion. Suspension du travail dans ces ouvrages pendant un chômage de 12 heures occasionné par la paye des ouvriers.	aurait été chassée au dehors par une manœuvre imprudente.	

9. — Concession

(Instituée par décret

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
23	1873 7 »	Fosse N° 2.	7 Brûlés, asphyxiés, ou contusionnés.	»	210	17100	Cloche formée au dessous d'un plancher établi dans un puits, dont on rehaussait le cuvelage.	Lampe à feu nu.	»

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

d'Ostricourt (suite).

OBSERVATIONS.

41

Circonstances de l'accident. — On perçait à l'étage de 354^m deux montages destinés à mettre celui-ci en communication avec l'étage supérieur de 300^m, le seul alors en exploitation. Cinq ouvriers étaient occupés tant à l'avancement de ces deux ouvrages qu'à la manœuvre des ventilateurs destinés à les aérer. Au moment où ils arrivaient le matin à leur chantier, une violente explosion se produisit. Trois d'entre eux furent retrouvés morts, le 4e mourut quelques heures après ; le 5e, grièvement brûlé, survécut seul.

L'explosion avait déterminé quelques éboulements.

Remarques particulières. — Les lampes de sûreté avaient été visitées comme d'habitude avant d'être remises aux ouvriers. On a observé sur le sol et sur les bois, des dépôts abondants de poussière noire.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à cesser tout travail à l'étage de 354^m, jusqu'à ce qu'il ait été mis en communication avec l'étage supérieur.

d'Auchy-au-Bois.

du 29 Décembre 1855).

Indications générales. — Pour rehausser le cuvelage de la fosse N° 2, on avait établi à 38^m du jour un plancher solide fermant complètement le puits, y compris le goyau de retour d'air. Au-dessus, un plancher mobile s'élevait à mesure que le travail avançait. Le goyau d'aérage avait été conservé au-dessus du plancher volant ; il communiquait avec une cheminée d'appel, de sorte que l'air entrait par le compartiment principal du puits, venait lécher le plancher en balayant la petite quantité de grisou qui pouvait s'échapper à travers les fissures, et remontait par le goyau.

On pouvait compter sur un appel de 10 m. cub. d'air par seconde.

On travaillait avec des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Quelques minutes après la descente du Sous-Ingénieur, qui allait visiter le travail dans le puits, une explosion de grisou se produisit. Les deux planchers, le Sous-Ingénieur et les six ouvriers furent précipités dans la fosse, profonde de 420^m.

Les circonstances immédiates de l'accident sont restées inconnues.

Le guidonnage étant brisé, on descendit avec des tonneaux, en enlevant les bois enchevêtrés dans la fosse. On retrouva à 125^m et à 170^m deux cadavres accrochés à des bois ; ils présentaient des marques de brûlures et d'asphyxie. Au bout de 12 jours, on parvint à 263^m; mais il fallut alors abandonner les recherches pour réparer le puits et refaire le cuvelage, dans lequel s'étaient déclarées des fuites considérables.

Remarques particulières. — La cloison d'aérage était renversée du côté du puits, c'est donc dans le goyau que l'explosion a dû se produire.

Le maître-plancher était formé de planches à rainures jointives ; mais ses bords laissaient passer quelques filets du mélange grisouteux emprisonné au-dessous dans le goyau de retour d'air. Les conditions de l'aérage rendaient presque impossible l'inflammation au-dessus du plancher volant. Le maître-mineur, voulant visiter le cuvelage déjà posé, sera probablement descendu au-dessous du plancher volant; sa lampe à feu nu aura enflammé près du pourtour de la fosse une fuite de grisou, et l'inflammation se sera propagée dans le goyau, au-dessous du plancher fixe.

Cet accident met en évidence le danger de l'emploi des lampes à feu nu auprès de barrages derrière lesquels peut se trouver accumulé du grisou, aussi étanches que puissent paraître ces barrages et si

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

9. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
24	1875 9 Mai	Fosse N° 2. — Veine St-Jean-Baptiste. — Etage de 248m.	2 Brûlés.	3 Brûlés grièvement.	97	1262	Disposition en cul-de-sac d'un chantier, aéré au moyen d'un canard qui arrivait jusqu'à 3m du front de taille.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence des victimes qui avaient allumé un coup de mine sans s'être préalablement assurées de l'absence du grisou dans le chantier, comme cela leur était recommandé. Présence d'une certaine quantité de matières explosibles à proximité du front de taille, et dont la déflagration a considérablement aggravé les effets de l'explosion.
25	1875 28 Juillet	Fosse N° 1. — Etage de 270m.	3 Brûlés.	5 Brûlés.	260	21979	Niche de 3m de profondeur, insuffisamment aérée par diffusion, existant à l'extrémité supérieure d'un plan incliné.	? Etat défectueux d'une lampe de sûreté dont le treillis n'était plus serré sur la virole et laissait un jour entre cette dernière et lui.	Imprudence de l'une des victimes qui, selon toute vraisemblance, avait enlevé le fil de fer, qui maintenait le tamis de sa lampe serré sur la virole.

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

d'Auchy-au-Bois (*suite*).

OBSERVATIONS.
11
satisfaisant que soit l'aérage en avant. On eut dû donner issue au grisou qui pouvait s'accumuler sous le plancher, en établissant une gaîne spéciale, débouchant à une hauteur convenable dans la partie supérieure du goyau.
Indications générales. — L'aérage général de la mine était convenablement assuré par un puissant ventilateur Guibal de 9^m de diamètre. La fosse était sujette à des dégagements assez abondants de grisou. Mais vu son état de réorganisation et le peu d'ouvriers qui y travaillaient ; on n'avait pas cru devoir y installer un service spécial de boutefeux. On s'était contenté de recommander expressément aux ouvriers de ventiler et d'inspecter soigneusement leurs chantiers avant d'y allumer des coups de mine. **Circonstances de l'accident.** — Cinq ouvriers étaient occupés à l'abatage d'un amas irrégulier de charbon, près d'un étranglement de la veine. Sans prendre le soin de s'assurer préalablement de l'absence du grisou, ils mirent le feu à un coup de mine à l'aide d'un morceau d'amadou allumé sur une lampe. La fusée était à peine allumée qu'une flamme se répandit au toit du chantier. Il n'y aurait eu à ce moment qu'une légère explosion. Mais 3 livres de poudre qui se trouvaient déposées sur le conduit d'air, à peu de distance du front de taille, prirent feu à leur tour. Les cinq mineurs furent brûlés et deux d'entre eux moururent des suites de leurs blessures. Une demi-heure plus tard, il se produisit de nouveau une seconde explosion. **Remarques particulières.** — Le chantier où s'est produit l'accident était convenablement ventilé par un canard amenant l'air frais jusqu'à 3^m du front de taille. Toutefois, une demi-heure avant l'accident, le porion dans sa visite, y avait constaté au toit la présence d'une petite quantité de grisou. On a retrouvé, dans le chantier, des lambeaux carbonisés de vêtements, qu'on présume avoir pris feu lors de la première explosion, et avoir ensuite déterminé la seconde. Cet accident met en évidence le danger qu'il y a à laisser des matières explosibles au voisinage de points où on tire des coups de mine. **Mesures prises à la suite de l'accident.** — Les exploitants ont été invités à soumettre à l'Administration un projet de règlement intérieur complet, en harmonie avec les dispositions recommandées par l'Instruction ministérielle du 6 Décembre 1872, et réglant particulièrement l'organisation du tirage à la poudre.
Indications générales. — L'aérage ne laissait rien à désirer. Il était assuré par un puissant ventilateur, installé au jour ; dans l'intérieur même de la mine, la répartition de l'air était irréprochable. Les chantiers devaient être visités par un porion, chaque matin, avant l'entrée des ouvriers. On ne se servait que de lampes de sûreté. **Circonstances de l'accident.** — Huit ouvriers se rendant à leur travail, arrivaient à 3^m du sommet d'un plan incliné automoteur, dans une bowette transversale qui conduisait à leurs tailles. Au moment où l'un d'eux pénétrait dans la niche du treuil qui desservait ce plan, une inflammation de grisou se produisit et les brûla tous plus ou moins grièvement. Ils purent remonter au jour, ainsi que leurs camarades des autres chantiers de la fosse, dont l'atmosphère était devenue irrespirable. Trois d'entre eux succombèrent des suites de leurs brûlures. Les dégats matériels se sont bornés au renversement de 3 portes d'aérage. L'inflammation ne s'est propagée qu'à une petite distance dans la partie gauche du plan incliné. **Remarques particulières.** — Un courant d'air très vif circulait dans la bowette et dans le plan incliné lui-même. La lampe que l'on a présumé avoir été la cause de l'accident a été retrouvée sur un bois, à l'entrée de

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

9. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			

10. — Concession

(Instituée par décret

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
26	1872 12 Avril	Veine du Nord. — Etage de 305m.	1 Brûlé.	»	111	6707	Insuffisance d'aérage au sommet d'un plan incliné où passait cependant l'une des branches du courant d'air. Suspension du travail pendant un jour de chômage.	Allumage probable d'une pipe.	Imprudence de la victime qui avait très probablement essayé d'allumer sa pipe au treillis de [illegible] lampe de sûreté.

1. — GROUPE DU NORD.

a. — Département du Pas-de-Calais.

d'Auchy-au-Bois (suite).

OBSERVATIONS.

11

la bowette. Elle était garnie de sa toile métallique, mais celle-ci était détachée de la virole sur laquelle elle devait normalement être maintenue serrée à l'aide d'un fil de fer. Un jour de 1^{mm} à 1^{mm} 1/2 existait ainsi entre la virole et la toile. Cette dernière était d'ailleurs neuve et exempte de déchirures.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités :

1° A prendre des mesures pour que tous les points de la mine accessibles aux ouvriers, fussent désormais aérés de manière à prévenir toute accumulation de gaz, et pour qu'ils fussent compris dans la visite du matin qu'ont à faire les surveillants ;

2° A préparer une réglementation complète du service des lampes de sûreté, au triple point de vue des réparations, de l'entretien journalier et de la remise aux ouvriers.

de Cauchy-à-la-Tour.

du 21 Mai 1864).

Indications générales. — Le travers-bancs du niveau de 305^m avait rencontré, à 150^m au nord de la fosse, la veine qui était en ce point inclinée de 15° vers le sud. On prenait une taille dans cette veine ; les deux voies inférieure et supérieure de cette taille étaient réunies par un plan incliné en demi-pente, pris dans le prolongement du travers-bancs, et ayant 26^m de longueur.

L'aérage des travaux était obtenu au moyen d'un foyer. Le courant entrait par l'un des compartiments de la fosse, suivait le travers-bancs jusqu'au plan incliné où il pouvait se diviser en deux branches, arrivant toutes deux, l'une par le plan incliné, l'autre par la voie de fond et le front de la taille dans la voie supérieure de celle-ci, à l'entrée d'un recoupage en percement.

Une partie de l'air revenait au puits par une colonne de tuyaux suivant la voie supérieure, le plan incliné et le travers-bancs ; l'autre aérait le recoupage, passait, par une double buse, dans un petit niveau intermédiaire et revenait par le plan incliné dans une colonne de tuyaux qui le ramenait également au puits.

Cette situation n'était que provisoire ; le percement du recoupage devait notablement améliorer les conditions de cet aérage.

Circonstances de l'accident. — Après un jour de chômage, un mineur, chargé des fonctions de surveillant, faisait sa tournée avant l'arrivée des ouvriers ; il était monté à la partie supérieure du plan incliné pour y chercher un outil, lorsqu'une explosion de grisou s'y produisit.

Les buses qui servaient de retour d'air dans le travers-bancs, ayant été arrachées, on ne put arriver auprès du cadavre que 5 heures après l'accident.

Un ouvrier qui était occupé à creuser un refuge au bas du plan incliné, vit la flamme passer près de lui, mais ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — L'air avait, à la sortie des ouvrages qui pouvaient donner du grisou, une marche mal assurée et descendante, quoique sous une faible inclinaison. Il devait de plus revenir au puits par deux longues colonnes de tuyaux n'ayant que 0^m 23 de diamètre ; enfin les buses, placées dans le recoupage, s'ouvraient au sol de cette galerie, ce qui permettait ainsi au grisou de s'accumuler librement au toit.

Le surveillant fumait quelquefois dans la mine. Une pipe et du tabac ont été trouvés près de lui, et il est à peu près certain qu'il a déterminé l'explosion en voulant allumer cette pipe au treillis de sa lampe.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES

1. — Concession

(Instituée par

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
27	1823 9 Août	Fosse du Chaufour.	22 Brûlés et asphyxiés.	5 Brûlés dont 1 très-grièvement.	448	31509	Ventilation générale irrégulière et insuffisante.	Chandelles employées presque partout pour l'éclairage.	»
28	1832 2 Août	Puits Saint-Joseph. — Petite veine du Midi. — Etage de 385m.	10	5	1570	167220	Perturbation produite dans la ventilation par un orage violent.	Flamme d'un coup de mine.	»

1.° — GROUPE DU NORD.

A. — Département du Nord.

d'Anzin.

[Décret de 1717).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — Le courant d'air était disséminé irrégulièrement dans les travaux.

La présence du grisou y était reconnue depuis longtemps; mais la difficulté de se procurer des lampes Davy avait empêché l'emploi de ces dernières de s'y généraliser. Il n'en existait qu'un très petit nombre dans les travaux, et la plupart des ouvriers recevaient des chandelles pour s'éclairer.

La mine ne possédait aucun des appareils, connus à cette époque, permettant de pénétrer dans les gaz irrespirables.

Circonstances de l'accident. — Une explosion, sur les circonstances de laquelle on n'a pu obtenir de détails, a fait 27 victimes, dont 22 morts. Par suite de l'absence d'appareils de sauvetage sur le carreau de la mine, on ne put pénétrer dans les quartiers infestés que près de 12 heures après l'accident, lorsque l'aérage se fut complètement rétabli. Après 3 jours de recherches, 19 cadavres avaient été retirés de la fosse; un seul dût y être abandonné par suite de la difficulté de pénétrer plus avant. Deux autres victimes succombèrent en outre des suites de leurs brûlures.

Remarques particulières. — Les concessionnaires avaient fait venir d'Angleterre un certain nombre de lampes Davy, mais elles avaient été arrêtées à la douane de Calais, qui n'en avait laissé passer que deux à titre d'échantillons. Un peu plus tard, la Compagnie avait pu en outre en tirer quelques unes de Belgique, en contrebande.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral a prescrit la suspension des travaux jusqu'à ce que les exploitants se fussent procurés le nombre de lampes Davy nécessaires. Ces lampes devaient être allumées avant la descente des ouvriers et fermées de manière que ces derniers ne pussent les ouvrir. Il était interdit d'introduire dans la mine, des pipes, du tabac, des briquets ou de l'amadou, et de s'y servir de chandelles ou de lampes à feu nu.

La Compagnie a demandé à la Belgique un constructeur capable de fabriquer, sur place, des lampes Davy et de les entretenir.

L'Administration s'est préoccupée en même temps des améliorations qu'il pouvait y avoir lieu d'apporter à l'aérage de cette mine. Enfin, elle a fait étudier les appareils déjà connus permettant de pénétrer dans les milieux irrespirables.

Indications générales. — L'aérage se faisait entre deux puits, dont les orifices étaient au même niveau, au moyen d'un foyer établi dans l'un d'eux à 200^{m} de profondeur.

Circonstances de l'accident. — Un coup de mine, tiré pendant un violent orage, détermina une explosion de grisou qui causa la mort de 8 ouvriers et des blessures à 7 autres; deux de ces derniers succombèrent des suites, quelques jours après.

L'explosion avait brisé deux portes d'aérage; on rétablit le courant d'air qui avait été renversé et l'on put opérer rapidement le sauvetage.

Remarques particulières. — On a attribué l'accumulation de grisou, cause première de l'accident, à une perturbation produite dans le courant d'air, par le violent orage qui régnait au jour au moment de l'explosion.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Un arrêté préfectoral défendit le tirage des coups de mine en temps d'orage, et prescrivit la fermeture du puits de sortie d'air en même temps que la construction d'une cheminée reliée à ce dernier par une petite galerie inclinée.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES…

1. — Concessio…

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
						Tonnes			
29	1847 27 Mars	Fosse Tinchon. — Grande veine. — Etage de 498m.	»	4 Brûlés.	2817	446580	? Dégagement de grisou d'une fissure naturelle de la roche, traversée par un trou de mine.	Flamme d'un coup de mine.	Cause fortuite.
30	1848 26 Octob.	Fosse Mathilde — Veine Petite-Zoé Couchant. — Etage de 303m.	»	3 Brûlés grièvement.	2870	317082	»	Lampe à feu nu.	Impru… d'une des vic… qui avait pé… étourdiment … une lampe à … nu dans un q… tier où l'u… de ces la… était form… ment interdi…

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage de la mine était normalement assez bon pour que le grisou ne marquât nulle part à la lampe. Toutefois le courant d'air suivait une marche descendante.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers de la coupe à terre étaient occupés à l'exécution d'une voie montante destinée à amener dans la voie de fond les charbons de la seconde des 3 tailles qui existaient à l'Est du puits. A cet effet ils faisaient sauter le mur de la couche et les déblais obtenus étaient montés dans la 2me taille par deux autres ouvriers. L'un des premiers venait de mettre le feu à la fusée d'un coup de mine foré au mur, et s'était retiré, ainsi que ses deux camarades, à une dizaine de mètres en arrière, lorsqu'une explosion de grisou se produisit et brûla deux d'entre eux plus ou moins grièvement. Le 3me, qui était couché presque à plat ventre sur le sol de la montée, ne fut pas atteint. L'inflammation se propagea dans la deuxième taille, où elle brûla encore assez grièvement les deux autres ouvriers. Elle n'arriva pas jusqu'à la première où se trouvait également un mineur.

Remarques particulières. — On a constaté que les lampes des victimes n'avaient pas été ouvertes. Il a été reconnu aussi que la roche n'avait pas éclaté sur les 12 derniers centimètres du trou de mine dont la profondeur totale atteignait 0m 40. La partie projetée s'était détachée nettement suivant un plan naturel de fissure, normal à la direction du trou de mine et dont on a reconnu distinctement l'une des faces. On a admis que le grisou qui a fait explosion s'était dégagé de cette fissure.

Indications générales. — On avait commencé depuis un mois les travaux préparatoires à l'exploitation de la veine Petite-Zoé à l'étage de 303m. Ces travaux consistaient, dans la partie du couchant, en 2 tailles établies sur la voie de fond, qui avait alors une trentaine de mètres à partir du puits, et en une montée de 4 mètres destinée à desservir la seconde de ces tailles. Une disposition analogue existait au levant.

L'air descendait dans la fosse par le compartiment de l'extraction, se rendait par la voie de fond dans les 2 tailles du couchant qu'il parcourait, se dirigeait ensuite par un canard métallique, vers les travaux du levant et retournait au goyau d'aérage de la fosse.

La veine n'avait pas à cet étage plus de 7° d'inclinaison. Elle donnait assez de grisou ; mais c'était la seule de la fosse qui en dégageât.

Les ouvriers ne devaient y travailler qu'à la lampe Davy.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers de la coupe à terre, qui étaient occupés au coupement de la voie de fond des deux tailles du couchant, venaient de prendre leur repas à l'accrochage. L'un d'eux, malgré les observations de son camarade, pénétra avec une lampe à feu, qu'il portait fixée sur sa tête, dans le montage de la deuxième taille et détermina une explosion de grisou qui le brûla grièvement ainsi que deux ouvriers qui s'y trouvaient. Son compagnon, qui était resté dans la voie de fond, ne fut pas atteint.

L'explosion renversa quatre portes d'aérage placées dans la voie de fond et y aplatit le canard métallique. D'autres portes furent renversées dans les étages supérieurs.

La flamme se propagea jusqu'au jour, en suivant le parcours du courant d'air et s'éteignit au bout de quelques instants. Les lampes qui servaient à éclairer les moulineurs au jour, furent éteintes.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'inflammation du gaz. 9	Causes directes. 10
						Tonnes			
31	1854 13 Août	Fosse la Régie. — Veine Tafin.	4 Brûlés.	2 Brûlés grièvement.	2593	419232	»	? Inflammation de la cartouche d'un coup raté, par un second coup de mine tiré à 0m30 du premier.	»
32	1860 17 Févr.	Fosse Mathilde — Bowette de 338m.	»	7 Brûlés dont 1 grièvement.	4007	506819	? Défaut de puissance du ventilateur. Cul-de-sac de 16m formé par une bowette au-delà d'une porte d'aérage et ventilé seulement par diffusion.	? Ouverture d'une lampe de sûreté.	? Imprudence d'une des victimes.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

d'Anzin (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage était bon. L'air arrivait aux tailles par la voie de fond, montait le long de celles-ci et en sortait par le niveau supérieur dans lequel l'accident s'est produit.

Circonstances de l'accident. — Quatre ouvriers élargissaient la partie supérieure d'une remontée, voisine des tailles de la veine Tafin. Un coup de mine avait raté la veille et le travail avait été suspendu pendant la journée ; un second coup fut préparé à 0^m 30 du premier et tiré avec toutes les précautions nécessaires. En partant, il enflamma une certaine quantité de grisou qui se trouvait dans le niveau servant de retour d'air à l'ensemble des 4 tailles. La flamme, se dirigeant contre le courant d'air, vint brûler grièvement, à 17^m de la remontée, les 4 ouvriers qui s'étaient réfugiés au front d'une taille et 2 des ouvriers de cette taille ; 4 d'entre eux succombèrent des suites de leurs blessures.

Les ouvriers des tailles inférieures s'aperçurent à peine de l'inflammation. Un éboulement se produisit dans la galerie de retour d'air, à 100^m de la remontée.

Remarques particulières. — On a supposé que l'explosion du coup de mine avait mis à découvert la cartouche du coup raté et que cette dernière, en brûlant librement, avait enflammé le gaz.

Indications générales. — L'aérage paraissait assuré d'une manière satisfaisante par un ventilateur Fabry établi sur la fosse Bayard. Une partie de l'air entrait par la fosse Mathilde et suivait la bowette de 338^m. Une double porte le forçait à passer dans les travaux de la veine Lebret avant de se rendre à la fosse Bayard. Un autre courant d'air descendait par la fosse Turenne, aérait les tailles de la veine Zoé, revenait par la voie de fond de celle-ci, dans la bowette de 338^m, à 16^m au delà de la porte d'aérage et se rendait à la fosse Bayard en parcourant les travaux de la veine Petite-Zoé.

Tous les ouvriers de la fosse étaient munis de lampes Davy qui leur étaient remises le matin, fermées à vis. Toutefois il ne leur était défendu de les ouvrir que dans les chantiers mêmes.

Circonstances de l'accident. — Au moment où les ouvriers ayant fini leurs journées se disposaient à remonter au jour, une inflammation de grisou, dont les causes sont restées inconnues, prit naissance dans la bowette de 338^m et brûla ou renversa 7 ouvriers qui se trouvaient dans cette galerie et près de l'accrochage ; quelques autres furent seulement renversés mais sans blessures. Ces derniers ont affirmé avoir entendu deux détonations successives ; la seconde aurait été de beaucoup la plus violente.

Le feu se communiqua à la paille d'une écurie qui se trouvait à proximité du puits ; 3 chevaux y furent brûlés ou asphyxiés. La porte d'aérage de la bowette fut renversée ainsi qu'une autre qui se trouvait dans la voie de fond de la veine Lebret.

Remarques particulières. — On a signalé à ce propos un défaut de puissance du ventilateur de la fosse Bayard. De plus, le courant d'air venu de la fosse Turenne, laissait, dans la bowette, entre le point où il y pénétrait et la porte d'aérage, un cul-de-sac de 16^m dans lequel le renouvellement de l'air ne pouvait se faire que par diffusion.

Le sens du renversement des portes d'aérage, l'orientation des dépôts de poussières charbonneuses projetées par l'explosion sur les parois des galeries et sur les cadres de boisage, indiquaient que l'explosion avait dû prendre naissance dans ce cul-de-sac.

Les lampes des victimes ont été retrouvées fermées et en bon état, mais dans quelques-unes la vis qui servait à en empêcher l'ouverture était abaissée ; ce qui a fait supposer qu'une des victimes avait pu ouvrir sa lampe.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
33	1860 30 Septembre	Fosse Bleuze-Borne. — Veine Chévie. — Etage de 300m.	1 Contusionné.	»	4007	506819	?	Flamme d'un coup de mine.	Cause fortuite.
34	1860 15 Décembre	Fosse Ernestine. — Veine Lebret.	1 Asphyxié	1 Brûlé légèrement.	4007	506819	? Insuffisance de l'appareil de ventilation.	?	»
35	1860 30 Octobre	Fosse Villars. — Veine Lebret-Levant. — Etage de 313m.	1 Brûlé et asphyxié.	1 Brûlé légèrement.	4007	506819	? Porte d'aérage restée accidentellement ouverte.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de la principale victime qui avait ouvert sa lampe de sûreté, dont [illegible] avait frauduleusement paralysé le mécanisme de fermeture.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

d'Anzin (*suite*).

OBSERVATIONS.
11
Indications générales. — L'aérage était convenablement assuré par un foyer établi sur la fosse Moulin, aspirant l'air entré par la fosse Bleuzeborne. On savait que les veines de cette fosse dégageaient un peu de grisou. **Circonstances de l'accident.** — Pendant le poste de nuit et alors que tous les autres mineurs du niveau étaient retirés, 4 ouvriers étaient occupés au percement d'une galerie dans la veine Chévie. Pendant que deux d'entre eux étaient allés vérifier la fermeture d'une porte d'aérage, les deux autres mirent le feu à un coup de mine et se sauvèrent dans la direction de l'accrochage. Ils n'avaient pas parcouru ainsi 230^{m} qu'une violente explosion se produisit et les renversa ainsi que leurs deux camarades. Trois d'entre eux se relevèrent sans aucun mal, mais le 4me avait été tué raide. Son corps avait été projeté contre la double porte d'aérage, qu'il avait défoncée, et était venu tomber, à l'accrochage, aux pieds du mesureur. Les portes, les buses d'air, les boisages avaient été brisés et dispersés. L'air ne circulant plus dans la galerie, on a dû provisoirement renoncer à y rentrer après l'accident. **Remarques particulières.** — A l'entrée de la galerie en percement où l'accident s'est produit, l'air était arrêté par une double porte et forcé de s'engager dans une buse en tôle de 0^{m} 40 de diamètre qui le conduisait à l'extrémité de la galerie. L'absence de choc en retour a fait supposer que l'explosion n'avait été produite que par une très faible quantité de grisou mélangé à l'air de la galerie.
Indications générales. — L'aérage laissait à désirer. Il se faisait entre les fosses Ernestine et Bayard : un ventilateur Fabry était établi sur cette dernière, mais il ne donnait pas de dépressions assez fortes permettant d'augmenter notablement la vitesse de l'air dans certains travaux exceptionnels et d'y balayer complètement le grisou. **Circonstances de l'accident.** — On remblayait une remontée dans laquelle passait le courant d'air. La partie supérieure était déjà remblayée ; mais on avait réservé, entre le toit et les remblais, un passage suffisant pour un homme. Le maître-mineur, faisant sa tournée avec un ouvrier, arrivait à l'extrémité des remblais lorsqu'une explosion de grisou se produisit. Il fut brûlé légèrement et asphyxié dans la remontée même ; l'ouvrier n'eut que des brûlures légères. **Remarques particulières.** — La cause de l'accident n'a pu être découverte. Les lampes de sûreté ont été retrouvées en bon état après l'explosion. Celle-ci du reste avait dû être faible, car aucun bois n'avait souffert ; quelques portes d'aérage seulement avaient été endommagées.
Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. L'air entrait par la fosse Villars, parcourait les travaux de la veine Lebret, puis ceux de la veine Zoé, et remontait par la fosse Jean-Bart où était établi un ventilateur Guibal. Les ouvriers étaient munis de lampes Dubrulle disposées de manière à s'éteindre lorsqu'on les ouvrait. **Circonstances de l'accident.** — Vers la fin du poste de nuit, une explosion de grisou dont les circonstances sont restées inconnues, s'est produite dans les tailles de la veine Lebret-Levant et a atteint un mineur et un jeune releveur qui s'y trouvaient. Le mineur seul a été retrouvé en vie ; il ne portait que des brûlures sans gravité ; l'enfant, quoique également brûlé, avait dû succomber à l'asphyxie. Son cadavre a été découvert dans une des tailles supérieures.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'inflammation du gaz. 9	Causes directes. 10
						Tonnes			
36	1863 24 Août	Fosse Davy. — Moyenne veine. — Etage de 218m.	5 Brûlés.	»	3904	507583	? Présence d'une poche remplie de grisou dans les remblais au milieu desquels était établie la voie de retour d'air des tailles. Envahissement probable de la galerie, à la suite d'une première explosion, par le grisou accumulé dans ces remblais	Ouverture de lampes de sûreté.	Imprudence de deux des victimes qui avaient détamisé leurs lampes de sûreté.
37	1863 29 Août	Fosse Turenne — Veine Lebret — Etage de 410m.	»	5 Brûlés, dont 4 grièvement.	3904	507583	Inconnue.	Chute du treillis d'une lampe de sûreté mal agencée, dans l'intérieur de laquelle le grisou s'était enflammé.	Mauvais système de police des lampes de sûreté qui abandonnai[t] aux ouvriers le soin de monter eux-mêmes leurs lampes. Maladresse de l'une des victimes qui avait mal agencé sa lampe. Manœuvre maladroite de la mèche de cette lampe par l'auteur de l'accident.

OBSERVATIONS.

11

L'inflammation du gaz ne s'était propagée qu'à une faible distance le long des tailles. Quelques portes d'aérage seulement avaient été renversées par le choc en retour.

Remarques particulières. — On a retrouvé près du cadavre de l'enfant, sa lampe ouverte. Le trou destiné à recevoir la vis de fermeture était rempli par un petit tampon d'étoupes. Cette manœuvre coupable, employée d'ailleurs par un grand nombre d'ouvriers, avait pour but de paralyser le jeu du mécanisme de fermeture et de permettre d'ouvrir la lampe sans l'éteindre.

On a supposé que la porte qui forçait l'air à passer dans les tailles supérieures serait accidentellement restée ouverte : ce qui, en permettant à l'air de prendre la voie la plus courte, aurait donné lieu à une accumulation de grisou dans ces tailles. Le jeune releveur, venant y chercher un outil, y aurait mis le feu en ouvrant sa lampe.

Indications générales. — Pas de renseignements sur l'aérage général.

Circonstances de l'accident. — Cinq ouvriers étaient occupés à entailler le mur de la galerie de retour d'air des tailles. Deux d'entre eux, ayant ouvert leurs lampes de sûreté, occasionnèrent l'explosion du grisou accumulé dans une petite poche au milieu des remblais. Les 5 ouvriers furent très fortement brûlés ; 4 d'entre eux furent retirés morts de la mine ; le cinquième mourut des suites de ses brûlures.

Des ouvriers, qui se trouvaient dans la taille inférieure, avaient vu leurs lampes se remplir de flammes ; ils s'étaient enfuis avant l'explosion et n'avaient pas été atteints.

Les effets de l'explosion se manifestèrent dans un assez grand rayon ; des portes d'aérage furent détruites et des éboulements se produisirent à une distance notable du lieu de l'accident.

Remarques particulières. — Le retour d'air dans lequel l'explosion s'est produite, était parcouru par un courant très rapide. Pour y expliquer la présence du grisou en aussi grande quantité, on a supposé qu'il y avait eu deux explosions successives, et qu'à la suite de la première, le gaz s'était dégagé en abondance des remblais au milieu desquels se trouvait la galerie.

Indications générales. — L'aérage était suffisant. L'air entrait par la fosse Turenne et sortait par le puits Bayard sur lequel était établi un ventilateur Fabry.

Les ouvriers étaient munis de lampes de sûreté disposées de manière à s'éteindre lorsqu'on les ouvrait. Les diverses pièces en étaient remises aux ouvriers, qui devaient eux-mêmes les assembler après l'allumage.

Circonstances de l'accident. — Cinq ouvriers se trouvaient dans la galerie de retour d'air d'une taille. L'un d'eux s'étant aperçu que le grisou brûlait dans sa lampe, voulut baisser la mèche en tournant les montants qui maintenaient le treillis. Dans sa précipitation, il sépara les montants du réservoir et la lampe s'éteignit. Mais le treillis, qui n'avait pas été vissé sur le réservoir, tomba, et le gaz, qui brûlait à l'intérieur, mit le feu à une petite quantité de grisou.

Quatre des ouvriers furent gravement atteints ; le cinquième ne reçut que des brûlures légères.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
38	1865 9 Février	Fosse Turenne — Première, Deuxième et Troisième veines du Nord — Etage de 410m.	39 Brûlés ou asphyxiés.	7	3883	580801	Arrêt accidentel probable dans la ventilation d'une taille par suite de l'obstruction de sa partie supérieure.	Flamme d'un coup de mine.	Double imprudence de quelques-unes des victimes qui: 1° Avaient obstrué la partie supérieure de leur taille : 2° Y avaient allumé un coup de mine, contrairement à la défense générale qui en avait été faite.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

d'Anzin (suite).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — La lampe, cause de l'accident, n'appartenait pas à l'ouvrier qui la portait, mais à l'une des autres victimes qui l'avait mal assemblée.

Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant. Il était déterminé par un ventilateur Fabry installé sur la fosse Bayard et débitant 15 m. cub. par seconde. En outre, des foyers étaient établis sur les fosses Bayard et Ernestine pour suppléer, en cas de besoin, le ventilateur. Chacune des veines du Nord recevait un courant spécial et suffisant d'air frais.

L'extraction journalière dans ce puits occupait plus de 300 ouvriers et s'élevait à 3,000 hectolitres environ. L'exploitation avait son plus grand développement au niveau de 410^{m} où elle occupait 240 ouvriers, dont 100 dans la veine Zoé et 140 dans les trois veines du Nord.

La première dégageait peu de grisou ; mais les trois dernières en donnaient au contraire beaucoup : on consacrait à leur ventilation 10 à 12 m. cub. d'air par seconde.

L'emploi de la poudre à l'abatage était expressément interdit dans ces trois veines.

Les lampes de sûreté étaient seules en usage dans la fosse.

Circonstances de l'accident.—Une explosion de grisou, dont les circonstances sont restées inconnues, a fait 46 victimes dans les travaux des trois veines du Nord. Les travaux de sauvetage ont duré quinze jours. Dix-sept victimes, relevées dans les tailles ou voies de la deuxième veine, étaient mortes brûlées ; sur les vingt retrouvées dans la première veine, douze étaient mortes brûlées et huit asphyxiées. Une seule victime a été retrouvée dans la troisième veine.

L'explosion avait provoqué des éboulements considérables et fait sauter toutes les portes d'aérage. Il y avait dans les travaux une grande quantité d'acide carbonique. Dans la voie de fond, la violence de l'appel avait été telle, qu'un cheval, qui conduisait un train à la fosse, avait été enlevé et projeté entre les bennes et la paroi de la galerie. Il avait été assommé raide par la force du choc.

Remarques particulières. — Aucune des lampes retrouvées n'indiquait qu'elle eût été ouverte.

On a supposé que l'explosion s'était produite dans la deuxième veine dont tous les ouvriers ont été retrouvés brûlés. Les victimes, mortes de brûlures, qui étaient dans la première veine, ont été retrouvées dans des voies communiquant avec la seconde. Les ouvriers des tailles, au contraire, avaient été simplement asphyxiés.

De plus on a découvert les traces d'un coup de mine dans la première taille de la deuxième veine. On a présumé que les ouvriers occupés à cette taille en avaient obstrué la partie supérieure pour que le coup de mine qu'ils voulaient tirer ne fût pas entendu du surveillant, qui venait de passer.

L'inspection du carnet des amendes montrait d'ailleurs que bien que l'usage de la poudre fut interdit dans les veines du Nord, les ouvriers s'en servaient assez fréquemment.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
39	1869 19 Mars	Fosse d'Hérin. — Veine Maugre-tout. — Etage de 250^m.	5 dont 4 Brûlés et 1 asphyxié.	16 Asphyxiés.	5251	887920	Imperfection dans la distribution de l'air dont une partie déjà chargée de gaz par son passage dans une couche très grisouteuse était ramenée dans le courant général. Dépression barométrique signalée.	Flamme chassée hors du tamis d'une lampe de sûreté.	Insuffisance de section des galeries qui imprimait au courant d'air une vitesse trop grande.

1. — GROUPE DU NORD.

1. — Département du Nord.

d'Anzin (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général de la mine était bon. Il était assuré par deux foyers bien établis; mais la distribution de l'air laissait un peu à désirer. On avait détourné une portion du courant principal, arrivant par la bowette de 250m, pour assainir les travaux infestés de grisou de la veine Maugretout; cette portion, au lieu d'être dirigée de suite dans le retour d'air, était ramenée dans le courant général où elle apportait une assez grande quantité de gaz.

D'un autre côté, la section étroite des galeries donnait au courant une vitesse un peu trop grande (1m 50 par seconde).

Circonstances de l'accident. — Une explosion, dont les circonstances sont restées inconnues, se produisit dans la bowette de 250m. Un ouvrier fut asphyxié et quatre autres brûlés mortellement; seize mineurs à demi asphyxiés par les gaz, furent heureusement sauvés. On put rentrer immédiatement dans les travaux et sortir les victimes.

L'explosion avait été toute locale; elle ne s'était pas propagée au dehors de la bowette. Elle n'avait produit aucune dégradation dans les travaux et on ne put retrouver aucune trace du passage des gaz enflammés.

Remarques particulières. — Le jour de l'accident, la pression barométrique était faible; aucune trace de grisou cependant n'avait été remarquée.

L'inflammation paraît avoir été déterminée par une lampe de sûreté à simple treillis, suspendue au collier d'un cheval qui quittait un train de berlines pour en prendre un autre. Le courant d'air déjà très vif dans les autres parties de la galerie, devait avoir une vitesse encore plus grande au point où se trouvaient les berlines et le cheval, qui rétrécissaient d'autant la section libre. Le mouvement brusque qu'a dû faire le cheval, en se retournant sous l'excitation de son conducteur, a pu augmenter assez la vitesse relative du courant pour faire passer la flamme de la lampe au travers du treillis.

Cet accident donne un nouvel exemple de l'insuffisance des lampes de sûreté dans les courants animés d'une certaine vitesse. Il montre également l'opportunité d'agrandir la section des galeries pour diminuer la vitesse du courant d'air, de diriger autant que possible l'air contre le ciel des galeries au moyen de portes régulatrices placées aux points où le grisou peut affluer des divers ouvrages, de faire enfin une distribution très méthodique de l'air en mettant directement en communication avec le retour d'air général, les retours d'air des ouvrages infestés, au lieu de ramener dans le courant principal les portions qui auraient été détournées pour ces ouvrages.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
40	1870 6 Février	Fosse d'Hérin. — Veine Voisine. — Etage de 250m.	»	3 Brûlés assez grièvement.	5169	869810	Évacuation incomplète du gaz dégagé par un soufflard dans un ouvrage en cul-de-sac fermé par un barrage et aéré au moyen de deux buses. Sortie de ce gaz dans la galerie, par suite d'une accélération accidentelle du courant général, résultant de l'ouverture d'une porte d'aérage. Mélange de ce gaz avec celui que dégageait un autre soufflard dans la même galerie.	Flamme d'une lampe de sûreté chassée au travers du treillis métallique, par suite de l'exposition subite de cette lampe à un courant chargé de gaz sortant d'une buse avec vitesse.	»
41	1872 21 Février	Fosse Le Chaufour. — Grande veine du Midi. — Etage de 550m.	1 Asphyxié.	»	5571	1209471	Abandon d'un montage en cul-de-sac, envahi par le grisou, percé dans un amincissement de la veine et aéré seulement par diffusion.	*Asphyxie par le grisou sans inflammation du gaz.*	Imprudence de la victime qui s'était introduite dans le montage contrairement à la défense qui en avait été faite.

. — GROUPE DU NORD.

. — Département du Nord.

'Anzin (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général était convenablement assuré par un foyer.

Les niveaux de 250 et de 280^m venaient d'être mis en communication, au moyen d'un montage effectué dans la veine Voisine, d'une galerie horizontale perpendiculaire, et d'un beurtiat. Depuis que la communication était établie, le courant d'air était tellement vif (4^m par seconde) que l'on avait dû établir une porte régulatrice dans la galerie horizontale, au pied du beurtiat.

Pendant le percement, ces ouvrages avaient été aérés provisoirement au moyen de buses. Ces buses se prolongeaient, au-delà du montage, dans la galerie horizontale et dans un cul-de-sac de reconnaissance, où se trouvait un soufflard, et dont l'entrée était barrée par un mur en pierres sèches. Une seconde ligne de buses partait de ce cul-de-sac, suivait la galerie horizontale, dans laquelle existait un second soufflard, et s'arrêtait près de la porte régulatrice. Ce système de buses n'était d'ailleurs que provisoire ; on était occupé à l'enlever pour établir l'aérage définitif.

Circonstances de l'accident. — Un surveillant venait de franchir, en faisant sa tournée la porte régulatrice et se trouvait au pied du beurtiat lorsque le grisou s'enflamma dans sa lampe ; il retourna vivement sur ses pas, mais au moment où il ouvrait la porte, une explosion se produisit et le brûla assez grièvement. Le feu se propagea dans les buses et de là jusqu'aux ouvriers placés dans le montage. Le mur qui barrait le cul-de-sac fut démoli, les buses furent déchirées ou défoncées. Six ouvriers, qui se trouvaient dans le travers-bancs de 250^m, près du pied du montage, ne sentirent qu'un coup de vent qui éteignit leurs lampes.

Remarques particulières. — Le système de buses destiné à évacuer le grisou de l'ouvrage en cul-de-sac était impuissant à assurer cette évacuation d'une manière complète au fur et à mesure du dégagement ; une certaine quantité de gaz a donc pu s'accumuler dans cet ouvrage.

D'autre part, au moment où la porte avait été ouverte, le courant d'air avait dû augmenter d'intensité ; le grisou accumulé dans le cul-de-sac s'était dégagé par les buses et avait pris feu dans la lampe du surveillant. Quand celui-ci revint en arrière et ouvrit de nouveau la porte, sa lampe se trouva placée dans un courant d'air très vif, dont en marchant il augmentait encore la vitesse relative. Cette lampe se trouvant de plus présentée probablement à l'embouchure des buses, puisqu'elle devait être tenue très bas, la flamme aura passé hors du treillis et aura mis le feu au gaz amené par les buses et par le soufflard même de la galerie.

Indications générales. — Pas de renseignements sur l'aérage général.

Circonstances de l'accident. — Une taille ayant atteint un amincissement de la veine, sa partie *inférieure*, arrêtée à cet amincissement, se trouvait en retraite. Une cheminée étant devenue nécessaire, pour le passage du charbon de la partie supérieure qui continuait à avancer, on avait commencé un montage dans la partie rétrécie de la veine. Arrivé à 4^m 50 de hauteur, ce montage fut envahi par le grisou. Le chef porion fit alors retirer les ouvriers en leur défendant de rentrer dans le montage. Le percement fut ensuite continué du côté de la taille supérieure.

Un des ouvriers s'étant introduit dans la remontée, probablement pour se rendre compte de ce qui restait à percer, fut retrouvé asphyxié quelque temps après, à 2^m de l'entrée.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
42	1874 27 Mars	Fosse Tinchon — Veine du Midi. — Etage de 532m.	»	2 Brûlés.	5899	1151483	Soufflard dans le voisinage d'un léger ressaut existant au toit d'une galerie.	? Fermeture incomplète d'une lampe de sûreté, ou passage de la flamme au travers du treillis sous l'influence d'un courant d'air un peu rapide ou même de gaz d'un soufflard	Double imprudence de l'une des victimes qui avait négligé de visser complètement sa lampe et qui l'avait placée, près du toit, au voisinage d'une fissure dégageant du grisou, et contre un paquet de cartouches, dont l'inflammation a aggravé les effets de l'explosion.
43	1874 23 Juillet	Fosse Davy. — Veine Maugretout. — Etage de 278m.	2 dont 1 projeté et 1 enseveli sous un éboulement	4 Brûlés.	5899	1151483	? Dégagement de grisou par les fissures du toit, à la tête d'un plan incliné percé dans un accident. Dépression barométrique signalée.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de l'une des victimes qui avait allumé un coup de mine sans l'autorisation du surveillant.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

d'Anzin (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage était convenable et suivait partout une marche ascensionnelle.

Les lampes de sûreté, du système Dinant, étaient remises ouvertes aux ouvriers, qui, après les avoir allumées, devaient les fermer eux-mêmes en les vissant à fond. La fermeture des lampes était obtenue au moyen d'une tige à ressort, logée dans le fond de la boîte. Pendant le vissage de la partie supérieure de la lampe, cette tige venait s'engager dans une échancrure de la virole du treillis et empêchait ainsi la rotation inverse dans le sens du dévissage. Toutefois ce mode de fermeture n'était efficace que lorsque la lampe était vissée à fond.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers se rendant à leur travail s'étaient arrêtés à quelque distance du front de taille pour enlever leurs vêtements. L'un d'eux posa sa lampe et un paquet de cartouches sur une saillie de la paroi, près du toit de la galerie ; l'autre posa la sienne dans une berline un peu plus loin. Le gaz prit feu sur la première et brûla assez grièvement les deux mineurs.

L'explosion ne se propagea pas. Des ouvriers qui travaillaient dans un niveau voisin sentirent seulement un léger coup d'air.

Remarques particulières. — Il existait au toit de la galerie où s'est produit l'accident une fissure que l'on savait dégager du grisou ; on avait pris quelques précautions en conséquence ; le toit présentait cependant en ce point un léger ressaut.

Les deux lampes retrouvées après l'accident n'étaient vissées, la première qu'à un tour et la seconde à deux. L'échancrure de la virole de la première laissait un jour au-dessus du bord supérieur de la boîte.

On a présumé que l'inflammation avait pu se communiquer au gaz soit par ce jour, soit par le passage de la flamme au travers du treillis sous l'influence d'un courant d'air un peu rapide ou d'un dégagement un peu vif du soufflard.

Les effets de l'explosion auraient été aggravés par l'inflammation des cartouches placées près de la lampe.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à confier au lampiste seul le soin d'allumer et de fermer les lampes avant qu'elles fussent remises aux ouvriers.

Indications générales. — L'aérage, déterminé par le foyer de la fosse d'Hérin, était suffisant et le courant d'air convenablement dirigé.

Les ouvriers ne devaient allumer de coups de mine qu'après en avoir obtenu l'autorisation du surveillant.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier et son aide avaient préparé un coup de mine au sommet d'une taille, à l'extrémité du niveau de retour d'air. Ils y mirent le feu sans en demander préalablement l'autorisation au surveillant. En partant, le coup enflamma une petite quantité de grisou qui se trouvait au front de taille et dans la galerie de retour d'air. La combustion se propagea dans cette galerie sur une longueur de 70^{m}, jusqu'à la tête d'un plan incliné ; là une explosion se produisit et la galerie s'éboula sur 7^{m} de longueur. L'ouvrier, qui s'était garé à une trentaine de mètres du coup de mine, fut très-grièvement brûlé. L'aide, qui s'était réfugié à la tête du plan incliné, fut renversé et tué sur le coup. Quatre ouvriers se trouvaient près de lui : l'un d'eux fut enseveli sous l'éboulement et ne put être retiré qu'au bout de quelques heures ; les trois autres furent brûlés assez grièvement.

Remarques particulières. — Une dépression barométrique très sensible avait été constatée le jour même de l'accident.

La tête du plan incliné se trouvait dans un accident et en ce point les fissures du toit dégageaient une notable quantité de gaz. Celui-ci se mélangeait à l'air qui filtrait au travers des portes d'aérage et remontait le plan incliné.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'acci-dent. 2	LIEU de l'acci-dent. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
44	1874 12 Décembre	Fosse Réussite — Petite veine du Midi-Couchant. — Etage de 466m.	3 dont 2 Brûlés et 1 contusionné.	1 Asphyxié.	5899	1151483	Ralentissement de la marche du foyer d'aérage pendant la durée du poste de nuit. Arrêt accidentel dans la ventilation, par suite d'un éboulement survenu dans une voie d'air. Forte dépression barométrique.	Flamme d'un coup de mine.	Imprud[illegible] deux des victim[illegible] qui avaient [illegible] mé un coup [illegible] mine malgré [illegible] défense qui [illegible] en avait été [illegible] par le surveill[illegible]
45	1875 18 Août	Fosse Dutemple. — Puits N° 2. — Etage de 316m.	»	2 Brûlés légèrement.	6094	1188181	Espace clos, de 0m 60 de hauteur existant entre le fond d'un puits et un plancher rendu plus ou moins étanche par les débris de matériaux qui le recouvraient.	Lampes Davy détamisées.	Imprudenc[illegible] victimes [illegible] vaient [illegible] leurs lampe[illegible] Défaut [illegible] veillance [illegible] part du [illegible] de service [illegible] rait dû [illegible] que [illegible] étaient [illegible] clef.

1. — GROUPE DU NORD.

1. — Département du Nord.

d'Anzin (suite).

OBSERVATIONS.
11
Indications générales. — L'aérage était convenablement assuré par un foyer, qui faisait passer dans les travaux de la fosse Réussite 40 m. cub. d'air environ par seconde pour une extraction journalière de 500 tonnes, soit 8 m. cub. par 100 tonnes, (une moyenne de 6 m. cub. est regardée comme représentant, dans le bassin de Valenciennes, un aérage satisfaisant). Il passait 3 m. cub. d'air frais par seconde dans les tailles, inclinées de 55° à 60°, où s'est produit l'accident. Le courant y était très-vif et constamment ascensionnel. Le règlement interdisait le tirage des coups de mine en l'absence d'un surveillant spécial chargé d'inspecter préalablement les chantiers. **Circonstances de l'accident.** — Deux mineurs, qui travaillaient vers dix heures du soir dans la neuvième taille de la Petite Veine, avaient à faire partir quelques coups de mine. Conformément au règlement ils en prévinrent le surveillant de service ; celui-ci arriva, mais comme il avait à se rendre immédiatement à d'autres chantiers, il prescrivit de ne pas procéder à l'allumage avant son retour. Quand il revint quatre heures plus tard, il fut suffoqué par une fumée méphytique. Ne pouvant plus avancer, il courut chercher du secours. On trouva d'abord, à l'entrée de la voie d'accès de la taille, les corps de deux ouvriers ; l'un d'eux, à demi-asphyxié, put être rappelé à la vie. Au fond de la taille gisaient les cadavres des deux mineurs qui y travaillaient ; ils avaient été brûlés et asphyxiés. **Remarques particulières.** — Depuis la veille de l'accident il régnait au jour une forte dépression barométrique. Les surveillants en avaient été prévenus. On a présumé que cette baisse avait pu déterminer un dégagement plus considérable de gaz, en même temps qu'elle diminuait l'effet du foyer d'aérage (?) On a supposé aussi que ce dernier pouvait avoir une marche moins active au moment de l'accident, à cause du peu d'ouvriers qu'il y avait alors dans la mine. On a constaté, en rentrant dans les travaux après l'accident, qu'un coup de mine venait d'être tiré dans la neuvième taille. La sixième taille a été trouvée en partie obstruée par un éboulement qui arrêtait le courant d'air. On a supposé que cet éboulement, au lieu d'être une conséquence de l'explosion, se serait au contraire produit après la première visite du surveillant. L'absence de dégradations, constatée dans la totalité des voies et tailles plus rapprochées du lieu de l'explosion, semble appuyer cette hypothèse. D'ailleurs, si cet éboulement n'a pas été la cause première de l'accident, il en a au moins aggravé les conséquences en empêchant les gaz délétères, produits par l'explosion, de se disperser. Sur les quatre victimes, trois ont en effet été atteintes par l'asphyxie.
Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers venaient de terminer le goyau destiné à amener l'air frais au fond du puits N° 2, que l'on venait d'approfondir sous serrement. Ils étaient occupés à débarrasser un plancher, recouvert de briques, de mortier, etc.., qui avait été établi à 0m 60 du fond. Ils étaient munis de lampes Davy, mais ils en avaient enlevé les tamis. L'un d'eux souleva une des solives du plancher ; il se produisit aussitôt une petite explosion qui les brûla tous deux, mais peu grièvement. Le plancher ne fut pas projeté et on n'y vit pas de traces de brûlures; le goyau resta également intact. **Remarques particulières.** — Pendant la période du forage, où on tirait de nombreux coups de mine, les ouvriers avaient été surveillés d'une manière permanente. Depuis l'établissement du goyau d'aérage la ventilation était devenue meilleure et le travail, ne nécessitant plus de tirage à la poudre, la surveillance était devenue intermittente et avait été confiée au lampiste de service. Cet accident donne un nouvel exemple du danger qu'il y a à approcher avec des lampes à feu nu, de barrages pouvant emprisonner du gaz.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

1. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'acci-dent. 2	LIEU de l'acci-dent. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
46	1877 26 Décembre	Fosse Renard. — Veine Président-Couchant. — Etage de 376m.	»	2 Brûlés.	6440	1216633	Insuffisance de ventilation au sommet d'un montage, par suite de la présence d'un petit massif de remblai qui divisait le courant.	Lampe à feu nu.	»
47	1878 23 Mars	Fosse Renard. — Veine Paul.	»	1 Brûlé légèrement.	6688	1253039	Chantier en cul-de-sac et en remonte, dont la partie moyenne venait d'être remblayée, et qui n'était aéré que par diffusion.	Lampe à feu nu.	»

2. — Concession

(Instituée par décret

48	1861	Fosse de Leforest.	»	2 Brûlés légèrement.	647	102235	Aérage local insuffisant.	Lampes à feu nu.	Imprudence [illegible] victimes qui [illegible] vaient [illegible] sans précauti[illegible] dans un ouvr[illegible] non visité dep[illegible] plusieurs jours.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

d'Anzin (suite).

OBSERVATIONS.
11
Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à confier exclusivement à des ouvriers spéciaux les travaux qui nécessitent l'emploi de lampes à feu nu, et à veiller à ce que tous les autres ouvriers, sans exception, ne reçoivent que des lampes de sûreté fermées à clef.
Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant. Il était obtenu au moyen d'un foyer établi sur la fosse Casimir. Aucune trace de grisou n avait encore été constatée à la fosse Renard. Les ouvriers n'étaient munis que de lampes à feu nu. **Circonstances de l'accident.** — Quatre ouvriers mineurs arrivaient, munis de leurs lampes à feu nu, vers la tête d'un montage, quand une inflammation de grisou se produisit. Deux d'entre eux, les plus rapprochés du front de taille, furent brûlés assez grièvement ; les deux autres, qui se trouvaient derrière un petit massif de remblai, furent à peine atteints. **Mesures prises à la suite de l'accident.** — Les exploitants ont fait prendre des lampes de sûreté aux ouvriers de ce montage et ont chargé spécialement un lampiste-surveillant de le visiter. Ils ont de plus fait établir un barrage et une buse pour porter l'air jusqu'au sommet même de ce montage.
Indications générales. — Pas de renseignements sur l'aérage. Le grisou n'avait pas encore apparu dans cette veine. On y travaillait avec des lampes à feu nu. **Circonstances de l'accident.** — Un montage de 6m de largeur, ouvert dans la voie de fond de la veine Paul, avait atteint 3m de longueur. Trois ouvriers venaient pour y prendre leur travail. Celui qui marchait le premier, arrivé près du front de taille, détermina l'inflammation d'une petite quantité de grisou qui lui causa des brûlures sans gravité. **Remarques particulières.** — Le montage n'était aéré que par diffusion. Pendant la nuit, sa partie moyenne avait été remblayée sur 4m de largeur jusqu'à 1m du front de taille, et le massif de remblais avait dû rendre l'aérage moins satisfaisant. **Mesures prises à la suite de l'accident.** — Le montage a été aéré au moyen d'une colonne de tuyaux, et les ouvriers occupés sur le parcours du courant d'air qui le desservait, ont été munis de lampes de sûreté.
de l'Escarpelle. du 27 Novembre 1850).
Indications générales. — Pas de détails sur l'aérage général. L'emploi des lampes de sûreté était seulement facultatif. **Circonstances de l'accident.** — Deux ouvriers arrivant avec une lampe à feu nu en un point où on n'avait pas pénétré depuis plusieurs jours, furent légèrement brûlés par une petite inflammation de grisou.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

2. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
						Tonnes			
49	1863	Fosse de Leforest.	»	4 Brûlés.	658	115197	Perturbation de l'aérage, produite par un accident survenu à une porte.	Lampes à feu nu.	Absence de mesures convenables de précautions à la suite de la perturbation survenue dans l'aérage
50	1869 9 Octobre	Fosse Soyez. — Veine Amable Marc.	»	1 Brûlé légèrement.	705	135741	Galerie en cul-de-sac, percée à l'extrémité supérieure d'un beurtiat montant, et aérée seulement au moyen d'une gaîne en bois. Suspension du travail dans cette galerie pendant l'intervalle de deux postes.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime qui s'était rendue dans un chantier dangereux avec sa lampe à feu nu, contrairement à la défense qui en avait été faite.
51	1870 23 Mars	Fosse Soyez. — Veine Amable Marc. — Etage de 310m.	»	1 Brûlé légèrement.	640	128742	Interception partielle du courant d'air traversant un montage, accidentellement encombré par un tas de charbon, et à partir du sommet duquel l'air devait suivre une marche descendante.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime qui avait employé une lampe à feu nu en un point où la présence du grisou était à craindre.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

de [illegible] (*suite*).

OBSERVATIONS

11

Circonstances de l'accident. — Un accident étant survenu à une porte d'aérage, quatre ouvriers, munis de lampes à feu nu, étaient occupés à la réparer, lorsqu'une inflammation de grisou se produisit et les brûla.

Remarques particulières. — L'accident survenu à la porte avait dû jeter une perturbation dans l'aérage et favoriser l'accumulation du grisou.

Indications générales. — Un ventilateur Fabry, placé sur la fosse Soyez, établissait une ventilation active dans les travaux.

La fosse donnait peu de grisou. Ce gaz ne se montrait guère que dans les ouvrages en cul-de-sac et mal aérés.

Les lampes Mueseler étaient en usage, mais leur emploi n'était pas obligatoire et les ouvriers s'en servaient souvent comme de lampes ordinaires.

Circonstances de l'accident. — Un beurtiat, percé en montant dans un niveau de la veine Saint-Charles, avait rencontré la veine Amable Marc à 13^{m} de hauteur, et on avait commencé dans cette veine une voie de fond, n'ayant encore que 6^{m} de longueur, dirigée vers des travaux déjà effectués dans la même couche. Deux ouvriers se rendaient à leur travail à l'avancement de cette galerie; l'un d'eux, en arrivant au haut du beurtiat, enflamma avec sa lampe à feu nu, le grisou qui s'était accumulé dans la voie supérieure pendant la nuit. L'autre ouvrier, resté au fond du beurtiat, ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — La galerie dans laquelle l'accident s'est produit était aérée d'une manière incomplète, au moyen d'une gaîne en bois aboutissant à la fosse.

Le porion avait défendu aux ouvriers qui y travaillaient d'ouvrir leurs lampes de sûreté.

L'ouvrier, victime de l'accident, avait substitué à la lampe Mueseler que le lampiste lui avait remise, une lampe à feu nu apportée de chez lui.

Cet accident montre l'inconvénient de l'absence d'une réglementation précise pour l'emploi des lampes de sûreté, emploi qui, jusqu'à un certain point, était laissé facultatif.

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. Il était obtenu au moyen d'un ventilateur Fabry établi sur la fosse Soyez.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers enlevaient un tas de charbon dans un montage; ils étaient munis de lampes à feu nu. L'un d'eux, malgré les observations de son camarade, pénétra dans la partie supérieure du montage pour y aller chercher un outil; il enflamma une petite quantité de grisou qui se trouvait accumulée dans une anfractuosité du toit et entre les cadres, et fut brûlé légèrement.

L'inflammation resta d'ailleurs toute locale.

Remarques particulières. — Ordinairement le courant d'air parcourait librement le montage; mais au moment de l'accident, il se trouvait partiellement intercepté par le tas de charbon qui encombrait la galerie. De plus, à partir du sommet de celle-ci, l'air devait redescendre le long de deux tailles de 13^{m} de profondeur, pour gagner les chantiers d'une veine immédiatement inférieure.

Cet état de choses devait d'ailleurs disparaître dès que le montage aurait atteint un niveau plus élevé.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont prescrit l'emploi exclusif des lampes de sûreté dans la fosse Soyez.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

2. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
52	1873 5 Janvier	Fosse Soyez. — Veine Amable Marc. — Etage de 310m.	»	1 Brûlé grièvement.	923	Tonnes 258831	?	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime, qui s'était engagée avec une lampe à feu nu dans une taille où l'emploi de ces lampes était interdit.
53	1875 1 Avril	Fosse No 2 ou de Leforest. — Veine Camaron. — Etage de 340m.	»	2 Brûlés légèrement.	1154	283933	Ventilation insuffisante d'un chantier en remonte, aéré seulement par diffusion.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence des deux victimes qui avaient tiré un coup de mine sans avoir eu soin d'inspecter préalablement le chantier au point de vue du grisou et de le purger à l'aide du ventilateur à bras qui avait été mis à leur dispositition.
54	1879 18 Avril	Fosse Soyez. — Veine Léopold.	»	2 Brûlés dont 1 très-grièvement.	805	237568	Dégagement subit de grisou, provoqué par le tirage d'un coup de mine dans une partie de la couche qui était traversée par une fissure.	Flamme d'un coup de mine.	»

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

de l'Escarpelle (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage général, assuré par un ventilateur Fabry, était satisfaisant.. Les lampes de sûreté étaient obligatoires à la fosse Soyez depuis le précédent accident.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans un plan automoteur. S'étant rendu avec une lampe à feu nu dans une des tailles de la veine où ne l'appelait pas son travail, il y détermina une petite explosion de grisou et fut brûlé grièvement.

Indications générales. — Depuis longtemps, le grisou n'avait pas été signalé à la fosse N° 2. Il n'y existait pas de règlement spécial pour le tirage à la poudre.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient dans une taille établie en remonte et ayant 4^{m} 50 de longueur. Ils allumèrent un coup de mine au toit. Le coup, en partant, détermina dans le chantier une petite inflammation de grisou qui les brûla légèrement. L'accident resta d'ailleurs localisé; deux herscheurs, qui se trouvaient à peu de distance, eurent à peine les cheveux roussis.

Remarques particulières. — La taille, où l'accident s'est produit, n'était que provisoire; elle n'était ventilée qu'indirectement par le courant d'air qui passait à son pied.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à réglementer le tirage à la poudre dans les travaux de leur concession susceptibles de dégager du grisou.

Indications générales. — L'aérage se faisait par une seule fosse, la fosse Soyez, dans laquelle on avait ménagé un goyau de retour d'air de 2 m. de section. Le ventilateur Fabry qui y était établi, débitait de 6 à 7 m. cub. d'air par seconde. Le courant d'air descendait jusqu'à la base du puits, se partageait entre la veine Alma, qui comprenait 17 tailles en exploitation, et la veine Léopold, qui n'en possédait que deux; puis il se réunissait pour remonter dans la veine Amable Marc et de là gagner le goyau de sortie.
La veine Alma donnait peu de grisou; la veine Léopold en donnait au contraire assez et le courant d'air y suivait en certains points une marche descendante.

Circonstances de l'accident.—Deux ouvriers travaillaient dans la 4me taille à achever le percement d'un niveau de retour d'air. Il ne leur restait plus à enlever qu'une cloison peu épaisse, qui séparait le niveau de la remontée, et qui d'ailleurs était déjà percée d'un trou de 0^{m} 20 de diamètre, à la partie inférieure. Ils avaient préparé à cet effet un coup de mine que le boutefeu spécial était venu allumer. Une explosion de grisou suivit le départ du coup. Le boutefeu fut très légèrement brûlé; les deux ouvriers placés plus loin furent également renversés; mais, chose singulière, le plus gravement atteint fut un enfant placé dans le niveau inférieur, derrière une porte d'aérage, et qui reçut des brûlures assez profondes.

Remarques particulières. — Le boutefeu, avant d'allumer la mine, avait constaté l'absence de grisou des deux côtés de la cloison.
Le massif de séparation, qui restait à enlever, était traversée par une fissure que les travaux de la cinquième taille n'avaient pas encore atteinte.
On a expliqué la singularité des effets de l'explosion en admettant que celle ci avait dû surtout se produire dans la remontée et y renverser la porte d'aérage derrière laquelle se trouvait l'enfant.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

2. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
55	1879 15 Octobre	Fosse Soyez. — Veine Léopold. — Etage de 400m.	»	2 Brûlés dont 1 très-légèrement.	805	237568	Marche successivement ascendante, puis descendant', imprimée au courant d'air desservant un groupe de 2 tailles.	Allumage de la fusée d'un coup de mine.	Imprudence du boutefeu, qui avait allumé simultanément deux coups de mine avant que les ouvriers du chantier se fussent écartés.

3. — Concession

(Instituée par décret

56	1860	Fosse Ernestine.	1 Brûlé	»	1027	110881	Ventilation insuffisante d'un chantier, aéré seulement au moyen de buses.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de la victime, qui ne s'était pas assurée de l'absence du grisou dans le chantier avant d'y allumer un coup de mine et s'était de plus servie d'une mèche trop courte.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

de [illegible] (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — Les mêmes que pour l'accident précédent.

Circonstances de l'accident. — On avait ouvert, au sommet d'un plan incliné, deux tailles, marchant respectivement vers la droite et vers la gauche, et distantes alors de 25m. Elles étaient reliées par un niveau inférieur de roulage et une voie supérieure d'aérage. Les deux ouvriers qui y travaillaient avaient préparé deux coups de mine distants d'une quinzaine de mètres, l'un au toit, l'autre au mur de cette dernière voie. Le boutefeu était venu les allumer : Après avoir mis le feu au premier, il courut au second, l'amadou enflammé à la main. Au moment ou la fusée de celui-ci prenait feu, une explosion de grisou se produisit. Le boutefeu, qui avait eu le temps de se jeter dans la taille de droite, ne fut que très légèrement brûlé. L'ouvrier du chantier, qui se trouvait un peu en arrière, était retourné sur ses pas en voyant les flammes et s'était jeté à terre ; il ne fut pas atteint par les projections de roches résultant du départ des mines, mais il fut brûlé assez grièvement.

L'explosion resta circonscrite entre les deux tailles. Un ouvrier, placé dans le niveau de roulage, ne sentit rien d'anormal ; sa lampe resta même allumée.

Remarques particulières. — Le courant d'air, qui parcourait les deux tailles entre lesquelles l'accident s'est produit, traversait l'une en montant et l'autre en descendant.

Le boutefeu avait fait les constatations d'usage. Mais, d'après le règlement de l'exploitation, le tirage de plusieurs coups de mine devait toujours se faire successivement et non simultanément ; de plus le boutefeu devait, avant de les allumer, s'assurer que tous les ouvriers du chantier s'étaient écartés.

Mesures prises à la suite de l'accident. — A la suite de cet accident et du précédent, les exploitants ont été invités à présenter un projet d'amélioration de l'aérage de la veine Léopold, ou à suspendre provisoirement l'exploitation des deux tailles qui y étaient en activité.

de Raismes.

du 29 Ventôse an VII).

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier mit le feu à un coup de mine sans avoir au préalable constaté l'absence du grisou dans le chantier. Une explosion de grisou se produisit et le brûla mortellement. L'inflammation ne se propagea pas.

Remarques particulières. — La galerie était aérée seulement au moyen de buses.

La victime s'était servie d'une mèche trop courte pour allumer son coup de mine et n'avait pu s'écarter suffisamment. C'est à cette circonstance qu'on doit probablement attribuer la suite funeste de l'accident.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

3. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
						Tonnes			
57	1863 26 Juin	Fosse Bleuze-Borne. — Veine Georges.	3 Brûlés et asphyxiés.	»	1183	174037	? Dégagement de grisou d'une cavité mise à jour au moment du départ d'un coup de mine.	Flamme d'un coup de mine.	»

4. — Concession

(Instituée par décret

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
58	1857 4 Juin	Fosse Saint-Mathieu. — Niveau de 440m.	3 dont 2 Brûlés et 1 contusionné.	»	1013	158094	?	Ouverture d'une lampe de sûreté.	? Imprudence de l'une des victimes qui avait ouvert sa lampe de sûreté.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

de Raismes (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. Il était obtenu au moyen d'un foyer établi sur le puits du Moulin. L'air descendait par la fosse Bleuze-Borne.

Cette dernière fosse dégageait peu de grisou.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers entaillaient le mur de la veine Georges, dans un niveau servant de retour d'air à deux tailles. Ils avaient allumé un coup de mine et s'étaient réfugiés à une trentaine de mètres. Le départ du coup de mine fut suivi d'une explosion de grisou qui les brûla fortement.

Deux portes d'aérage ayant été détruites, on ne put arriver de suite auprès des victimes qui furent retrouvées asphyxiées.

Remarques particulières. — La circulation de l'air était très active dans le chantier de l'accident.

On a supposé que le coup de mine, en partant, avait détruit les parois d'une cavité contenant du grisou et allumé le gaz qui s'y trouvait.

On n'a pas indiqué si le chantier avait été visité avant l'allumage.

L'explosion a pu simplement être causée par le grisou accumulé dans le chantier même, au voisinage du trou de mine.

de Douchy.

du 12 Février 1832).

Indications générales. — On venait d'approfondir sous stot la fosse St-Mathieu du niveau de 395^m, à celui de 440^m.

Un bure latéral et deux bouts de niveaux mettaient les deux parties du puits en communication. L'air descendait par la fosse jusqu'au niveau de 395^m, s'engageait dans un cornet de 0^m 35 de diamètre qui le conduisait, par les deux petits niveaux et le bure, jusqu'à 2^m du fond de la partie sous stot et remontait librement jusqu'au sommet du bure d'où il se dirigeait sur une autre fosse pour remonter au jour.

Tous les ouvriers étaient munis de lampes Davy, fermées à clef.

Circonstances de l'accident. — Une explosion de grisou, dont les circonstances propres sont restées inconnues, se produisit dans une amorce de galerie, au fond du puits que l'on approfondissait. Les deux ouvriers qui travaillaient à cette galerie furent retrouvés complètement brûlés; leurs vêtements étaient calcinés sur eux. Le coup d'air, à la suite de l'explosion, fit sauter deux planchers établis dans la partie sous stot et dans le bure latéral de communication, mais n'endommagea pas le cornet d'aérage. Un ouvrier, qui se trouvait dans le niveau de jonction du bure et de l'approfondissement, fut projeté violemment contre les parois et eut le crâne fendu. Quelques autres ouvriers éprouvèrent aussi un commencement d'asphyxie, mais on parvint à les retirer à temps et ils se rétablirent promptement.

Remarques particulières. — L'aérage paraissait très bon au fond du puits. L'amorce de galerie, qui n'avait encore que 1^m à 1^m 50 d'avancement, était percée au milieu de schistes un peu fissurés, mais ne donnant aucune trace de gaz.

On a découvert au fond de la partie sous stot et près des deux cadavres, le tamis d'une lampe dont on n'a pu retrouver le fond. On a présumé qu'elle appartenait à l'une des victimes, qui l'avait sans doute ouverte. De plus, on a retrouvé sur l'une d'elles, une pipe et du tabac.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

4. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes: de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
						Tonnes			
59	1862 24 Mars	Fosse Beauvais. — Veine Louise. — Etage de 460^m.	1 Brûlé et contusionné.	1 Brûlé grièvement.	960	153388	Montage en cul-de-sac, incliné de 30° et aéré insuffisamment au moyen de buses.	Lampe de sûreté dans l'intérieur de laquelle le grisou brûlait et dont le tamis aura rougi, ou dont la flamme aura été chassée hors du tamis par un courant d'air un peu vif.	Imprudence d'une des victimes qui, ayant vu sa lampe se remplir de flammes, l'avait abandonnée, sans l'éteindre.
60	1866 16 Avril	Fosse Beauvais. — Veine Anzinoise. — Etage de 460^m.	1 Asphyxié.	»	970	172679	? Portion de galerie constituée en cul-de-sac par une porte d'aérage, et où le renouvellement de l'air ne pouvait se faire que par les joints de cette porte.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de la victime, qui avait ouvert sa lampe.

1. — GROUPE DU NORD.

h. — Département du Nord.

de Douchy (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — On perçait dans la veine Louise, et suivant son inclinaison (30°), un montage qui atteignait déjà 47^m.

L'air descendait par la fosse Beauvais, s'engageait dans une série de buses en tôle qui le conduisaient par un travers-bancs et la voie de fond, jusqu'à l'avancement du montage. A partir de là, il devait redescendre dans le montage sur une certaine longueur, jusqu'à un niveau de retour d'air qui le dirigeait vers la fosse Sainte-Barbe, sur laquelle se trouvait un foyer d'appel. Un ventilateur à bras avait été établi dans la voie de fond, sur la buse d'arrivée, pour activer le courant d'air dans le montage.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier et son aide travaillaient à l'avancement du montage. S'apercevant que le grisou brûlait dans leurs lampes, ils descendirent dans la voie de fond. Malheureusement le premier abandonna sa lampe au haut de l'ouvrage, sans l'éteindre. Après avoir fait marcher quelques instants le ventilateur avec une très-grande vitesse dans le but de chasser promptement le gaz, il crut le danger passé et voulut retourner dans le montage pour y chercher sa lampe. Son aide le suivit à quelques pas en arrière. Ils avaient à peine monté 15^m qu'une explosion se produisit et les rejeta au bas du montage. L'aide, quoique gravement brûlé, reprit connaissance ; mais le mineur fut retrouvé mort ; il portait de fortes brûlures et une profonde blessure à la tête. Le jeune ouvrier, qui était resté au ventilateur, ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — La lampe de l'aide a été retrouvée fermée et en bon état, mais on n'a pu découvrir celle qui avait occasionné l'accident. On a supposé que le grisou, continuant à brûler dans son intérieur, avait fini par rougir le tamis, ou que la flamme avait été chassée au dehors par le courant d'air frais résultant de la manœuvre rapide du ventilateur.

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. L'air descendait par la fosse Beauvais et remontait par la fosse Gausois, sur laquelle un foyer d'appel était établi. Le courant à l'intérieur était bien réglé.

Les travaux de la fosse dégageaient très-peu de grisou.

L'emploi des lampes de sûreté y était obligatoire.

Circonstances de l'accident. — Un surveillant lampiste faisant sa tournée, ouvrit sa lampe de sûreté et détermina l'inflammation d'une petite quantité de gaz. Comme il n'était que légèrement brûlé, il se dirigea en courant vers une porte d'aérage, établie un peu plus loin dans la galerie, et qui donnait accès dans le courant d'air frais. Malheureusement, il ne put atteindre cette porte ; il tomba asphyxié à quelques mètres en arrière.

La commotion avait éteint quelques lampes, renversé une porte d'aérage et provoqué quelques légers éboulements dans la voie de retour d'air.

Remarques particulières. — La lampe de la victime a été retrouvée sur le lieu de l'accident, complètement ouverte. Les différentes pièces étaient séparées et renversées, mais non brisées. On a présumé que le surveillant avait ouvert sa lampe dans le but d'en arranger la mèche.

Cet accident montre la nécessité de ne confier les fonctions de surveillant qu'à des hommes sur la prudence desquels on puisse complètement compter.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

4. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
61	1866 1 Juillet	Fosse Saint-Mathieu. — Veine Magenta — Etage de 454m.	»	9 Brûlés légèrement.	970	172679	Dépression barométrique.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de l'une des victimes qui avait allumé un coup de mine, sans l'aide du surveillant chargé de visiter les chantiers.
62	1879 4 Septembre	Fosse Beauvais. — Veine Lilloise. — Etage de 543m.	»	4 Brûlés légèrement.	1016	156705	Dégagement assez abondant de gaz à l'avancement d'un bout de travers-bancs abandonné, de 63m de longueur, et non ventilé.	Etat défectueux d'une lampe de sûreté, dont la virole maintenant le treillis laissait entre elle et l'écrou un jour de 1mm.	Négligence du lampiste qui aurait dû reconnaître et signaler l'état défectueux de la lampe qui a occasionné l'accident.

5. — Concession

(Instituée par décret

63	1880 5 Avril	Fosse Bonnepart. — Veine Masse. — Etage de 329m.	1 Brûlé.	1 Brûlé très légèrement.	270	53530	? Suspension du travail pendant un jour de chômage.	Lampe à feu nu.	Cause fortuite.

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

de Douchy (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'air entrait par la fosse St-Mathieu, suivait la voie de fond de la veine Magenta, aérait les tailles en montant, arrivait dans le niveau supérieur où l'accident s'est produit, et redescendait ensuite dans la voie de fond pour se diriger vers la fosse Ste-Barbe, dans laquelle deux foyers étaient établis. Malgré ce trajet descendant, d'une longueur de 75^{m}, l'aérage était très bon.

Le règlement prescrivait la vérification préalable de l'état des chantiers, par un surveillant spécial, avant le tirage des coups de mine.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers entaillaient le mur d'un niveau servant de retour d'air à 5 tailles. L'un d'eux avait préparé un coup de mine au point de rencontre de la galerie avec un plan incliné par lequel descendait le courant d'air. Il l'alluma sans avertir le surveillant. Le départ du coup de mine fut accompagné d'une explosion de grisou, qui brûla très légèrement cet ouvrier, ainsi que huit autres qui se trouvaient dans les deux dernières tailles.

Remarques particulières. — Le temps était très orageux le jour de l'accident et cette circonstance avait pu amener un ralentissement dans le courant d'air (?)

Indications génerales. — L'entretien des lampes était confié à un lampiste spécial sous la surveillance d'un porion.

Circonstances de l'accident. — Le travers-bancs Nord de l'étage de 543^{m} avait été arrêté à 63^{m} au delà de la veine Lilloise, parce que le dégagement assez abondant de grisou qui se faisait à l'avancement y rendait dangereux le tirage à la poudre. Ordre avait été donné d'enlever les buses en bois qui servaient à l'aérer. Le porion, voulant s'assurer que cet ordre avait été exécuté, franchit le barrage qu'on avait établi à l'entrée de cette galerie pour en interdire l'accès aux ouvriers, et s'avança vers le front de taille. Il avait à peine parcouru ainsi 25^{m}, qu'une explosion de grisou se produisit et le brûla légèrement, ainsi que trois ouvriers qui travaillaient dans la veine Lilloise, à une petite distance du barrage.

Remarques particulières. — La lampe, que portait le porion et qu'il avait empruntée à un ouvrier, présentait un vice de construction dans la couronne en cuivre placée à la base du treillis métallique. Celle-ci n'était ni complètement circulaire, ni plane et laissait entre elle et l'écrou qui la fixait au cul de la lampe, un vide atteignant 1^{mm} de largeur.

---

de Fresnes.

du

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. Il se faisait naturellement et fournissait 2 à 3 m. cub. d'air par seconde, pour vingt ouvriers, au plus, occupés à chaque poste. On l'aidait au besoin au moyen d'un foyer.

La présence du grisou n'avait jamais été constatée dans cette fosse, bien qu'elle fût exploitée depuis le commencement du siècle. D'autre part la veine Masse, l'une des plus importantes du faisceau des charbons maigres des concessions de Fresnes et de Vieux-Condé, et qui avait été mise à jour par les travaux de toutes les fosses, n'avait jamais révélé de dégagements de gaz.

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

5. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			

6. — Concession

(Instituée par décret

64	1880 29 Avril	Fosse de l'Enclos. — Veine Edouard — Etage de 374m.	2 Brûlés.	1 Brûlé et contusionné.	?	?	? Dégagement brusque d'une certaine quantité de gaz par une fissure naturelle, mise à jour par l'effet d'un coup de mine.	Flamme d'un coup de mine.	Cause fortuite.

7. — Concession

(Instituée par décret

65	1854 20 Juin	Fosse d'Azincourt.	»	7 Brûlés,	357	49384	Montage en cul-de-sac presque vertical, de 3m de	Lampe à feu nu.	Imprudence de l'une des victimes qui, malgré toutes

1. — GROUPE DU NORD.

b. — Département du Nord.

de Fresnes (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers se rendaient le lundi matin à leur travail, dans un montage situé au-dessus de la deuxième taille, lorsque le grisou s'enflamma sur la lampe à feu nu de l'un d'eux et le brûla grièvement. Son compagnon, qui était à 2^m en arrière, fut à peine atteint.

L'explosion fut insignifiante et ne se propagea qu'à une très-faible distance du front de taille.

Remarques particulières. — La suspension du travail pendant le chômage du dimanche a pu favoriser l'accumulation du gaz dans le montage, bien que pourtant celui-ci fût directement parcouru par le courant d'air.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont prescrit l'emploi de la lampe de sûreté dans tous les travaux en montage.

Ils se sont préoccupés aussi d'améliorer l'aérage en substituant partout des ventilateurs aux foyers.

de Denain.

du 5 Juin 1831).

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant. Il était déterminé par un ventilateur Guibal marchant à raison de 18 tours par minute et débitant 17 m. cub. d'air par seconde ; ce qui correspondait à 55 litres environ par ouvrier.

Circonstances de l'accident. — Deux mineurs travaillaient au coupage du mur dans une voie de herchage. Ayant préparé un coup de mine, ils appelèrent le boutefeu, qui l'alluma après avoir fait les constatations d'usage. Le départ du coup détermina une inflammation de gaz, qui brûla très-grièvement le boutefeu ainsi que les deux mineurs qui s'étaient garés dans le voisinage. Ces deux derniers moururent des suites de leurs blessures.

Remarques particulières. — Le chantier avait été visité avant l'arrivée des ouvriers et on n'y avait pas trouvé trace de grisou.

On a constaté, en déblayant le coup de mine, que le forage en avait été arrêté à 0^m01 d'une fissure qui se prolongeait nettement, en direction aussi bien qu'en profondeur, dans les tailles desservies par la voie de herchage. Le départ du coup avait mis à nu ce délit, qui formait maintenant la paroi intacte de l'avancement, sur toute la largeur de la voie. Le grisou avait dû se dégager brusquement de cette fissure. Les faits de cette nature étaient d'ailleurs, assez fréquents dans les roches encaissantes de la veine Edouard.

Ainsi il existait, dans la voie de herchage supérieure un trou de mine qui n'avait jamais été chargé parce qu'il donnait lieu à un abondant dégagement de grisou. Ce dégagement était encore très-sensible vingt jours après l'abandon du trou.

d'Azincourt.

du 29 Décembre 1840).

Circonstances de l'accident. — Une équipe de jeunes ouvriers du poste de nuit attendait au niveau de 218^m le chargeur qui les commandait et qui devait les placer à leurs postes. Quelques-uns d'entre eux devaient commencer à remblayer un montage de 3^m de hauteur et étaient munis de lampes de

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

7. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers: Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers: Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'inflammation du gaz. 9	Causes directes. 10
		Veine Saint-Edouard — Etage de 218m.		dont 4 grièvement.		Tonnes	hauteur, et aéré seulement par diffusion.		les représentations, avait pénétré avec une lampe à feu nu dans un montage où la présence du grisou était à craindre.
66	1854 25 Octobre	Fosse d'Azincourt — Veine Saint-Edouard — Etage de 318m	6 dont 2 Brûlés et 4 contusionnés.	6 dont 5 Brûlés et 1 contusionné.	357	49384	Présence d'un accident dans le voisinage d'une taille, dont la forme était irrégulière et le toit surélevé. Forte dépression barométrique (?)	Inflammation d'une allumette.	Imprudence de l'une des victimes qui avait voulu allumer un coup de mine avec une allumette.
67	1863 14 Mars	»	»	2 Brûlés légèrement.	316	44641	Présence d'une cloche au toit d'une galerie.	? Inflammation d'une tache d'huile sur le treillis d'une lampe de sûreté, par suite d'une inclinaison accidentelle donnée à cette lampe.	Imprudence de l'une des victimes qui avait élevé sa lampe dans une cloche contenant du grisou.

1. — GROUPE DU NORD.

1. — Département du Nord.

d'Azincourt (*suite*).

OBSERVATIONS.

11

sûreté; les autres portaient des lampes à feu nu. L'un de ces derniers, malgré les recommandations faites par le porion et le chargeur, et les représentations de ses camarades, pénétra dans le montage et détermina l'inflammation du grisou qui s'y trouvait accumulé. Il fut grièvement brûlé ainsi que trois des six ouvriers restés dans le niveau ; les trois autres ne furent que légèrement atteints.

Indications générales. — L'aérage était suffisant. Il se faisait entre la fosse d'Azincourt et la fosse Ste-Marie dans laquelle était établi un foyer.

Le grisou était rare dans la fosse d'Azincourt.

Circonstances de l'accident. — Un coup de mine avait été préparé dans une taille de la veine St-Édouard. Cette taille, voisine d'un accident, avait une forme irrégulière et se trouvait plus élevée près du front de taille qu'en arrière. Un ouvrier, en allumant une allumette pour mettre le feu à la mèche du coup de mine, détermina une explosion de grisou. Cet ouvrier fut retrouvé mort ; il était brûlé et contusionné. Six autres mineurs, qui s'étaient réfugiés dans la voie de fond, furent grièvement brûlés ; l'un d'eux succomba aux suites de ses brûlures. Quatre ouvriers qui se trouvaient aussi dans la voie de fond, à 150^m de la taille, furent projetés contre les parois de la galerie et tués ; un dernier fut fortement contusionné. Les ouvriers des tailles supérieures ne furent pas atteints.

Remarques particulières. — Le dégagement du grisou avait dû être favorisé par le voisinage de l'accident. Malgré le courant d'air qui passait à l'entrée de la taille, le gaz avait pu s'accumuler près du front, où le toit se trouvait surélevé.

Le jour de l'accident, l'atmosphère était chaude et orageuse et la dépression barométrique avait atteint la limite extrême à laquelle elle arrivait dans la contrée. Cette circonstance avait pu ralentir le courant d'air et favoriser ainsi le dégagement du gaz (?)

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les travaux ont été suspendus à l'étage de 318^m jusqu'à ce qu'un ventilateur puissant eût été établi sur la fosse Ste-Marie.

Indications générales. — L'aérage était satisfaisant.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, en passant dans une galerie, éleva par curiosité sa lampe de sûreté dans une cloche qui se trouvait au toit. Une inflammation de grisou se produisit et le brûla très légèrement, ainsi qu'un autre de ses camarades. Cinq autres ouvriers furent également atteints, mais d'une manière presque insignifiante.

Remarques particulières. — La galerie où s'est produit l'accident était parcourue par un courant d'air assez vif. Les lampes des huit ouvriers qui y travaillaient ont été retrouvées intactes. Toutefois, le tamis de celle qu'on a présumé avoir occasionné l'accident, était recouvert d'huile. On a supposé que par suite d'une inclinaison accidentelle donnée à cette lampe, l'huile se serait enflammée et aurait mis le feu au grisou.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

7. — Concession

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers — Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers — Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation du gaz. 9	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes. 10
						Tonnes			
68	1863 22 Octobre	Fosse Saint-Auguste. — Veine N° 2. — Etage de 330m.	»	3 Brûlés assez grièvement.	316	44644	Dégagement abondant de gaz au toit de la veine, dans une taille où passait cependant le courant d'air.	? Ouverture d'une lampe de sûreté.	? Imprudence de l'une des victimes.
69	1868 3 Janvier	Fosse Saint-Auguste. — Veine Deux-Sillons. — Etage de 372m.	1 Brûlé.	2 Brûlés assez grièvement.	240	27122	Présence, entre le front d'une taille très inclinée et le plancher mobile de travail, d'un espace accidentellement dépourvu de ventilation par suite du charbon qui recouvrait ce plancher et empêchait l'accès de l'air.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence de l'une des victimes.

8. — Concession

(Instituée par décret

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirectes. 10
70	1880 15 Décembre	Fosse N° 2. — Veine Buruy. — Etage de 244m.	»	1 légèrement brûlé.	458	116278	Dégagement accidentel de grisou des fissures de la roche du toit dans une galerie.	Flamme d'un coup de mine foré en couronne.	Imprudence de la victime, qui avait mis le feu à un coup de mine sans avoir préalablement constaté l'absence de grisou au toit du chantier.

– GROUPE DU NORD.

partement du Nord.

ressort (suite).

OBSERVATIONS.

11

dications générales. — L'aérage de la fosse St-Auguste était satisfaisant.
Le grisou se dégageait en abondance du toit de la veine.

irconstances de l'accident. — Trois ouvriers travaillaient dans une taille, lorsqu'une inflammation grisou se produisit et les brûla assez grièvement.

lemarques particulières. — Le courant d'air passait dans la taille même.
a lampe Dubrulle de l'un des ouvriers a été retrouvée complètement forcée. Il est très probable qu'il ait ouverte et que c'est en la refermant précipitamment après l'accident qu'il l'aura mise dans cet état.

---

dications générales. — L'aérage se faisait entre la fosse St-Auguste et la fosse Ste-Marie sur elle était établi un ventilateur mécanique. Le courant d'air était partout ascensionnel. Il était tellement vif, qu'il en devenait incommode par la poussière qu'il soulevait; il était difficile d'y tenir les pes allumées.
a veine dégageait peu de grisou. Elle était inclinée de 40 à 45° et on l'exploitait au moyen de 4 tailles ant gradins renversés. Les ouvriers devaient, pour abattre le charbon, s'échafauder sur un plancher ile.
es ouvriers étaient munis de lampes Dubrulle qui leur étaient remises fermées à clef.

irconstances de l'accident. — Trois ouvriers travaillaient dans la quatrième taille. Par l'effet de ussière que soulevait le courant d'air très-vif, le tamis de la lampe de l'un d'eux s'était sali et ne ait passer que peu de lumière. Il l'enleva. Une petite quantité de grisou qui se trouvait accumulée le front de taille et le plancher s'enflamma et brûla grièvement les trois mineurs. Il n'y eut ni ation, ni dégâts matériels. Quelques ouvriers qui travaillaient dans la taille voisine, à quelques es de là, ne furent pas atteints.

marques particulières. — Un peu de grisou avait dû s'accumuler dans l'espace compris entre nt de taille et le plancher sur lequel travaillaient les ouvriers, plancher qui se trouvait probablement vert de charbon empêchant l'accès de l'air.
a lampe qui a occasionné l'accident a été retrouvée dépourvue de son tamis.

Vicoigne.

12 Septembre 1841).

ications générales. — La fosse N° 2 exploitait un faisceau de couches maigres où la présence sou était extrêmement rare.
rage se faisait par un foyer établi près de la fosse. Le courant d'air était très actif.
ant l'exécution de la voie de maillage supérieure d'un travail montant, on avait constaté un léger ement de grisou des fissures de la roche du toit. Les ouvriers avaient été en conséquence munis de s de sûreté et des précautions spéciales avaient été indiquées pour le tirage des coups de mine.

A. — MINES DE HOUIL

1. — BASSIN DE VALENCI

8. — Conce

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	NOMBRE d'ouvriers Tués. 4	NOMBRE d'ouvriers Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT Causes directes de l'accumulation du gaz. 8	CAUSES DE L'ACCIDENT Causes directes de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirec 10

2. — BASSIN D'HARDINGH

Concessio

Instituée par déc

Nos d'ordre. 1	DATE de l'accident. 2	LIEU de l'accident. 3	Tués. 4	Blessés. 5	OUVRIERS au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflammation du gaz. 9	Causes indirec 10
71	1860	Fosse Jasset.	1	»	176	Tonnes 15914	Dégagement imprévu de gaz.	Lampe à feu nu.	»

— GROUPE DU NORD.

Département du Nord.

Escoigne (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier venait de forer un trou de mine au toit de la veine dans voie de maillage supérieure. Il l'avait bourré et venait d'y mettre le feu, lorsqu'une explosion de grisou produisit et le brûla légèrement. Deux ouvriers, situés à une distance de 25m environ du coup de ine, virent venir la flamme et entendirent de petites explosions se succéder après le départ du coup.

Remarques particulières. — La galerie où s'est produit l'accident était en première ligne sur le oours général du courant d'air, qui, de plus, y était très vif.

Département du Pas-de-Calais.

l'Hardinghen.

le 19 Frimaire an IX).

Indications générales. — Le gaz n'avait jamais apparu dans la mine avant l'accident. On y employait exclusivement les lampes à feu nu.

(*La suite à une prochaine livraison*).

NOTE
SUR LA FABRICATION DE L'ACIER
AU MOYEN DE FONTES PHOSPHOREUSES
AUX USINES DU CREUSOT

Par M. DELAFOND, ingénieur des mines.

PRÉAMBULE

Nous avons été, en juillet 1881, chargé par M. le mi nistre des travaux publics du service de réception des ra fabriqués aux usines du Creusot, pour les chemins de f construits par l'Etat.

Les cahiers des charges imposés aux fournisseurs stip lent que « l'emploi des procédés de fabrication qui ne s raient pas consacrés par l'expérience sera subordonné l'approbation de l'administration. »

Les méthodes employées par MM. Thomas et Gilchri pour obtenir de l'acier au moyen de fontes phosphoreus étant très récentes et rentrant ainsi dans le cas visé p l'article précité, MM. Schneider ont dû solliciter de l'a ministration l'autorisation de livrer des rails en acier d phosphoré.

Nous avons été par suite amené à étudier d'une mani détaillée les méthodes de déphosphoration pratiquées Creusot, et à apprécier la qualité des produits fabriq

La Commission du matériel fixe des chemins de fer de l'E estimant que les résultats obtenus dans cette usine pa traitement des fontes phosphoreuses présentaient le p haut intérêt, nous a invité à rédiger sur cette import

question un mémoire destiné à être inséré dans les *Annales des mines* et celles des *ponts et chaussées.*

Nous devons, avant d'aborder notre sujet, dire que nous avons trouvé auprès de MM. Schneider le plus grand empressement à nous fournir tous les documents techniques qui nous étaient utiles ; aussi saisissons-nous avec empressement cette occasion de leur adresser nos remercîments.

HISTORIQUE DE LA QUESTION

La fabrication de l'acier au convertisseur Bessemer et au four Martin avait exigé, jusqu'à ces dernières années, l'emploi de fontes exemptes de phosphore. Un éminent professeur de métallurgie à l'Ecole des mines de Paris, M. Gruner, avait fait remarquer, depuis longtemps, que c'était la présence d'un revêtement siliceux qui s'opposait aussi bien au convertisseur qu'au four à réverbère, à l'élimination du phosphore, et il ajoutait que ce métalloïde serait expulsé, lorsque les appareils seraient munis d'un revêtement basique. Deux métallurgistes anglais, MM. Thomas et Gilchrist, ont suivi la voie indiquée par M. Gruner, et, dès 1878, ils purent annoncer qu'ils étaient arrivés à déphosphorer les fontes au convertisseur Bessemer, en garnissant cet appareil avec des briques de chaux magnésienne.

MM. Schneider ont, en novembre 1879, tenté au Creusot l'application des procédés de MM. Thomas et Gilchrist. Tout d'abord les résultats obtenus au convertisseur furent peu satisfaisants ; au four Martin Siemens, au contraire, le succès fut immédiat. Mais plus tard, on arrivait également à réussir l'opération dans la cornue Bessemer, et actuellement la fabrication marche d'une manière courante et sûre, aussi bien au convertisseur qu'au four à reverbère.

On produit donc au Creusot deux variétés d'aciers : l'une qui est désignée sous le nom d'*acier acide*, parce qu'elle

est obtenue avec des revêtements siliceux ; l'autre, qu'on appelle *acier basique*, parce qu'elle est produite en présence de revêtements de chaux magnésienne.

Nous étudierons successivement la déphosphoration au convertisseur Bessemer et au four à réverbère, mais nous ne traiterons que d'une manière incidente les questions qui ne se rattachent pas à la fabrication des rails.

DÉPHOSPHORATION AU CONVERTISSEUR

Nous diviserons l'étude de la déphosphoration au convertisseur en deux chapitres distincts :

1° Procédés de fabrication ; 2° qualité des produits.

I. — Procédés de fabrication.

L'examen des procédés de fabrication fera lui-même l'objet des cinq paragraphes suivants :

1° Disposition des appareils ; 2° conduite d'une opération ; 3° usure et réparation des appareils ; 3° réactions qui ont lieu pendant l'affinage ; 5° composition que doit avoir la fonte traitée.

§ 1er. *Disposition des appareils.* — Les convertisseurs employés sont les mêmes que ceux qui servent aux opérations Bessemer-acide. La seule différence consiste dans le mode de revêtement. On a abandonné au Creusot l'emploi des briques dolomitiques ; on fait usage d'un pisé de chaux magnésienne, aggloméré au moyen de goudron de gaz anhydre.

Cette chaux a la composition moyenne suivante :

Chaux	53,00
Magnésie	35,80
Silice, alumine	7,70

Elle provient de calcaires dolomitiques originaires du trias; ces derniers doivent être calcinés à une haute température, pour que la silice et l'alumine réagissent sur la chaux et la magnésie.

La chaux ainsi fabriquée est pulvérisée, tenue à l'abri de l'humidité, et mélangée avec 10 ou 11 p. 100 de goudron. On obtient alors une poudre brune qui est damée contre les parois du convertisseur, à l'aide d'un pilon en fer préalablement chauffé.

L'épaisseur du pisé peut être de 0m,65 environ au fond de la cornue; dans les autres parties, elle ne dépasse pas 0m,45.

Les tuyères sont en terres siliceuses; ce sont d'ailleurs les mêmes que celles qui servent à une opération acide.

On a reconnu qu'il était inutile de protéger au moyen de bauxite ou de graphite, pour empêcher les combinaisons chimiques, les points de contact de la silice des tuyères avec la chaux magnésienne du revêtement.

Aucune disposition n'est employée pour garantir le col des convertisseurs contre les engorgements; on évite ces derniers en ayant des scories suffisamment fluides.

Mais on reconnut l'utilité de rendre amovible la partie inférieure de la cornue, à l'effet de faciliter les réparations du revêtement.

Lorsqu'un appareil vient d'être muni d'un garnissage neuf, on le chauffe fortement avec du coke. On obtient ainsi un double résultat; d'une part, on élimine les matières volatiles du goudron, dont les vapeurs carburées constitueraient une gêne pour l'affinage de la fonte, en même temps qu'elles masqueraient en partie la couleur des flammes s'échappant de la cornue; d'autre part, le goudron laisse une carcasse de coke qui donne de la cohésion à l'ensemble du revêtement.

La poche et les moules de coulée sont les mêmes que ceux qui servent à une opération Bessemer-acide; aucune

modification n'est apportée non plus à la pression du vent et au volume d'air par seconde.

§ 2. *Conduite d'une opération.* — Dans une cornue pouvant traiter dix tonnes de fonte dans une opération acide, on affine environ huit tonnes de fonte phosphoreuse.

On introduit préalablement dans le convertisseur 16 à 18 p. 100 de chaux fortement chauffée, provenant directement d'un four de calcination situé tout à côté des appareils. On ajoute encore 1,5 p. 100 de fluorure de calcium.

La fonte est amenée liquide du haut fourneau; dès qu'elle est versée dans la cornue, on donne le vent et l'affinage commence.

L'opération se divise en quatre parties bien distinctes, qui peuvent être définies comme il suit : 1° scorification; 2° décarburation; 3° sursoufflage; 4° recarburation.

La *scorification* correspond principalement au départ du silicium. Comme ce métalloïde est en petites proportions dans la fonte traitée, la scorification ne dure que 1 minute 1/2 à 2 minutes.

La *décarburation* vient ensuite. Le carbone de la fonte est brûlé; une longue flamme, due à la combustion de l'oxyde de carbone, s'échappe de l'orifice de la cornue. Cette opération dure 9 ou 10 minutes.

On arrête alors le vent, on incline le convertisseur et on fait écouler les scories liquides. On ajoute de nouveau 5 à 6 p. 100 de chaux identique à celle de la première addition, puis on relève l'appareil et on donne le vent.

On entre alors dans la période du *sursoufflage*, pendant laquelle s'opère le départ du phosphore. Cette opération dure de 4 à 5 minutes, la température s'élève beaucoup.

On arrête de nouveau le vent, et on évacue aussi complètement que possible les scories qui sont devenues très

fluides. Ces dernières sont deux fois plus abondantes que celles qui ont été expulsées à la fin de la décarburation.

On fait procéder, tandis que la cornue est renversée, à une prise d'essai du métal, laquelle est aussitôt martelée, trempée et cassée. L'aspect de la cassure indique si le bain est suffisamment déphosphoré; une cristallisation à grains plats et brillants dénote une proportion de phosphore trop élevée. Si ce dernier cas se présente, on recommence le sursoufflage pendant quelques instants, et on procède, s'il le faut, à une nouvelle prise d'essai. Lorsqu'on est certain que la déphosphoration est suffisante, on opère la *recarburation* du bain au moyen de spiegeleisen.

Le spiegel renferme 18 p. 100 de manganèse ; on en met en moyenne 10 p. 100 de la charge initiale. L'addition est faite en deux fois, une première partie (1/3 environ) est ajoutée dans la cornue, le reste est introduit dans la poche de coulée.

On verse ensuite dans cette dernière le métal du convertisseur, et on procède à la coulée dans les moules.

Le déchet est important, il s'élève à 18 p. 100 environ. Dans une opération acide il n'est que de 8 à 9 p. 100 (*).

§ 3. *Usure et réparations.* — Il était naturel de supposer que le niveau moyen occupé par les scories dans la cornue devait, à cause de l'action des silicates sur la chaux, correspondre à la plus forte usure du revêtement. Or il n'en est rien. C'est le fond du convertisseur qui est corrodé le plus rapidement, et, résultat fort inattendu, les tuyères, bien que siliceuses et refroidies par le vent, sont rongées plus énergiquement que le pisé basique. On a constaté en outre que c'était pendant le sursoufflage, c'est-à-dire au moment où la température du bain atteint

(*) Le déchet est évalué par rapport aux charges de fonte et de spiegel. Pour 1.000 kilog. de lingots produits on a de 400 à 500 kilog. de laitiers.

son maximum, que le revêtement était le plus fortement attaqué.

Quelle est la cause de cette usure des tuyères? Est-elle due à une simple action mécanique, résultant soit du vent, soit des mouvements d'oscillation du métal dans la cornue? Ou tient-elle à la formation, par suite de l'action de l'air sur un métal très chaud, d'oxydes de fer et de manganèse qui réagissent à leur tour sur la silice des tuyères? Cette dernière explication nous paraît être la plus vraisemblable.

Après 15 ou 20 opérations, le revêtement du fond des cornues exige des réparations; on enlève alors ce fond qui est amovible, ainsi qu'il a été déjà mentionné; on change les tuyères et le pisé qui entoure ces dernières; le surplus du garnissage n'exige généralement que l'application d'une couche de pisé complémentaire.

Ce n'est qu'après 80 ou 100 opérations que le reste du convertisseur a besoin de réparations, qui consistent seulement en addition d'une couche de pisé.

§ 4. ***Réactions qui ont lieu pendant l'affinage.*** — Examinons maintenant les réactions qui ont lieu dans le convertisseur durant une opération.

La fonte traitée est blanche, légèrement truitée; elle a, en moyenne, la composition suivante :

Carbone.	3,00	p. 100.
Silicium.	1,30	—
Manganèse	1,50 à 2,00	—
Phosphore.	2,50 à 3,00	—
Soufre.	0,20 (au maximum).	

Le *silicium* disparaît le premier, d'une façon complète, et pendant un temps très court (1 1/2 à 2 minutes). Se combine-t-il directement avec la chaux qui a été ajoutée dans la cornue, ou forme-t-il d'abord des silicates de fer

et de manganèse qui sont ultérieurement transformés en silicates de chaux ? Cette dernière hypothèse nous paraît être la plus probable. La température de la chaux, au début de l'opération, est en effet moins élevée que celle du bain ; c'est là, semble-t-il, un obstacle à une formation immédiate du silicate de chaux.

On peut faire observer encore que si la silice agissait directement sur la chaux, il devrait se produire, à ce moment de l'opération, une corrosion notable du revêtement basique ; or, on a reconnu, au contraire, que l'usure était alors peu sensible. En tout cas, et c'est là le point important, le silicium est complètement transformé en silice, grâce à la présence des excès de bases avec lesquelles il forme des silicates.

Dans une opération acide, où ces conditions n'existent pas, puisque les scories et le revêtement sont essentiellement siliceux, l'élimination du silicium est incomplète.

Lorsque le départ du silicium est effectué, le *carbone* commence à brûler. La température du bain s'élève progressivement, par l'effet de cette combustion, et une partie des scories devient liquide. La fluorine qui a été ajoutée a pour effet d'accroître sensiblement cette fluidité.

A la fin de la décarburation, les scories ont en moyenne la composition suivante :

Silice	22,00	p. 100
Chaux et magnésie	47,00	—
Acide phosphorique	12,00	—
Oxydes de fer et de manganèse	11,00	—
Alumine, oxyde de chrome, acide vanadique, acide sulfurique	5,00	—

Comme ces scories renferment en notables proportions de la silice et de l'acide phosphorique, dont la présence est essentiellement nuisible, on les expulse le mieux possible ; mais leur évacuation n'est que partielle, parce qu'elles n'ont pas encore été portées à une température

suffisamment élevée pour avoir été entièrement liquéfiées.

Le *phosphore* commence à être expulsé dès le début de l'affinage, mais son départ est d'abord insignifiant (*). Tant qu'il se forme de l'oxyde de carbone en abondance, l'acide phosphorique ne saurait exister; il serait immédiatement réduit. Ce n'est que vers la fin de la décarburation que l'élimination devient notable; les analyses des premières scories rejetées de la cornue dénotent en effet une teneur élevée en acide phosphorique.

On peut même admettre que la cinquième partie au moins du phosphore contenu dans les fontes a été éliminée à la fin de la décarburation, lorsque la teneur initiale est de 2 à 3 p. 100.

Mais c'est surtout pendant le sursoufflage que ce métalloïde est oxydé et passe dans les scories. Aussi, pour éviter que l'acide phosphorique attaque les parois du convertisseur, et afin de rendre les scories essentiellement basiques, on a recours, comme nous l'avons déjà dit, à une nouvelle addition de chaux.

La combustion du phosphore développe beaucoup de calories; la température dans la cornue devient très élevée et les scories acquièrent une grande fluidité. On peut alors expulser ces dernières.

Elles ont à peu près la composition suivante :

Silice.	12,00	p. 100
Chaux et magnésie	54,00	—
Oxydes de fer et de manganèse	11,00	—

(*) Quelques métallurgistes ont pensé que le phosphore était oxydé en partie pendant la période de scorification, mais que l'acide phosphorique produit était réduit par l'oxyde de carbone durant la décarburation. Il ne nous paraît pas démontré qu'une notable partie du phosphore soit oxydée en même temps que le silicium, attendu que les premières scories formées doivent être très acides; la chaux est probablement à une température trop peu élevée pour absorber facilement la silice, au fur et à mesure que cette dernière est produite.

Acide phosphorique (*)	18,00	—
Alumine, oxyde de chrome, acide vanadique, acide sulfurique.	5,00	—

Ces scories sont riches en acide phosphorique et relativement pauvres en silicium.

Dès que les prises d'essai dénotent que le phosphore est convenablement éliminé, on arrête le sursoufflage. Si on continuait plus longtemps l'action du vent, l'oxydation du fer deviendrait énergique, et il se produirait d'énormes déchets.

Le départ du *manganèse* s'effectue d'une manière à peu près régulière pendant toute la durée de l'opération ; avec une fonte contenant 1, 5 ou 2 p. 100 de ce métal, il n'en reste plus que des quantités très faibles à la fin du sursoufflage (0,01 à 0,02 p. 100).

Le *soufre* lui-même est éliminé en partie ; ainsi, tandis que la fonte en renferme parfois 0,20 p. 100, l'acier n'en contient plus que 0,03 en moyenne, c'est-à-dire que plus des 4/5 de ce métalloïde sont expulsés. Il est probable que c'est pendant les périodes du sursoufflage et de la recarburation que s'effectue le départ du soufre.

On a donc, après le sursoufflage, un produit fondu ne renfermant que des traces de silicium, de carbone, de phosphore, de très petites quantités de manganèse et de soufre, mais contenant un peu d'oxyde de fer qui le rendrait rouverin. Il faut, pour obtenir de l'acier, réduire cet oxyde de fer, et ajouter au métal un peu de carbone. On arrive à ce résultat avec une addition de spiegeleisen.

Le carbone et le manganèse du spiegel réduisent l'oxyde de fer, et une partie de ces deux corps reste dans le métal. En faisant varier les quantités de spiegel ajoutées, on peut

(*) Nous ne dirons rien de l'état de combinaison du phosphore dans les scories, cette question n'étant probablement pas encore résolue d'une façon certaine.

augmenter ou diminuer, à volonté, la teneur en carbone du produit final.

Il se forme, par la réaction du spiegel, de l'oxyde de carbone qui agirait sur l'acide phosphorique des scories, et ferait rentrer du phosphore dans le bain, si on n'avait pas eu la précaution d'expulser préalablement ces scories. Cependant il est impossible d'évacuer complètement ces dernières, et il se produit toujours une réinvasion du phosphore.

On peut arriver à diminuer cet inconvénient en faisant l'addition du spiegel dans la poche de coulée, avant de verser le métal du convertisseur; mais on a alors à redouter une trop grande effervescence (par suite des réactions chimiques qui s'opèrent), et les projections qui pourraient en être la conséquence. On a donc pris le parti, au Creusot, de verser le tiers environ du spiegel dans le convertisseur et le reste dans la poche.

Grâce à ces précautions, la réinvasion du phosphore ne dépasse pas 0,020 p. 100.

§ 5. *Composition que doit avoir la fonte.* — L'affinage au convertisseur assure le départ, aussi complet qu'on puisse le désirer, du silicium et du phosphore, mais le soufre n'est éliminé que partiellement.

Ce dernier corps étant nuisible à la qualité de l'acier qu'il rend rouverin, il importe de traiter seulement des fontes en renfermant une faible proportion. On arrivera à ce résultat en imprimant aux hauts fourneaux une allure chaude avec laitiers très calcaires; la présence du manganèse dans le lit de fusion aidera puissamment aussi à faire passer le soufre dans les laitiers.

Pour les autres corps que renferme la fonte, il faut tout d'abord que le total des calories développées par leur combustion permette de porter le produit final à une haute température, et de fondre les scories.

Or la proportion de carbone ne varie que dans des limites assez étroites, et son oxydation ne donne pas beaucoup de chaleur. C'est donc sur les calories développées par les autres corps, silicium, manganèse et phosphore, qu'il faut compter principalement pour obtenir le résultat voulu. Examinons séparément quelles proportions de ces divers corps doit contenir la fonte.

Silicium. — Le silicium fournit beaucoup de calories et son élimination au convertisseur est certaine. Comme il brûle dès le début, il élève de suite la température du bain ; pour ce motif, sa présence dans la fonte semble être indispensable. Cependant, il ne faut pas que le silicium soit en proportion élevée, parce qu'alors on aurait les inconvénients suivants : addition de chaux trop considérable pour neutraliser la silice ; grande masse de laitiers réduisant l'effet utile du convertisseur ; usure du revêtement.

Aussi, au Creusot, estime-t-on qu'il y a convenance à ne pas traiter des fontes contenant plus de 1,00 à 1,50 p. 100 de silicium.

Manganèse. — Le manganèse ne présente que des avantages ; nous avons déjà dit qu'il facilite l'obtention, au haut fourneau, de fontes peu sulfureuses. Au convertisseur, il agit également en rendant les scories plus fluides, en favorisant probablement l'expulsion du soufre, et en préservant le fer contre une oxydation énergique pendant le sursoufflage.

Malheureusement les fontes manganésifères coûtent cher ; et on est conduit à limiter autant que possible, dans les lits de fusion des hauts fourneaux, l'addition de minerais de manganèse.

Phosphore. — C'est donc en augmentant la proportion

de phosphore qu'on arrivera généralement à élever la température dans la cornue.

Ainsi, les premiers essais tentés au Creusot, avec des fontes renfermant seulement 0,9 p. 100 de phosphore, furent infructueux. On n'obtint de bons résultats que lorsque la proportion de phophore atteignit 1,7 à 1,8 p. 100. Et récemment on a été, pour des motifs que nous ferons connaître plus loin, amené à accroître encore la proportion de phosphore, et à la porter à 2,50 ou 3 p. 100.

Cependant une forte teneur en phosphore n'est pas sans présenter des inconvénients qui peuvent se résumer comme il suit : durée du sursoufflage trop considérable, et, par suite, accroissement des déchets et usure plus forte du revêtement.

II. — Produits obtenus.

Nous avons, pour apprécier la qualité des aciers déphosphorés, à étudier les éléments suivants : 1° Composition chimique ; 2° Propriétés mécaniques ; 3° Structure physique.

§ 1er. — *Composition chimique.* — MM. Schneider nous ont fourni les résultats des analyses effectuées en août et septembre 1881, sur les aciers acides et basiques, destinés à la fabrication des rails. Chaque coulée d'acier basique a été l'objet d'un essai chimique ; pour l'acier acide on a analysé seulement une coulée par jour (*).

Les résultats obtenus sont résumés par les tableaux graphiques (*fig.* 1 et 2, Pl. V), qui montrent comment ont varié, pendant une période de deux mois, les teneurs en carbone, silicium, manganèse, soufre et phosphore.

(*) Les analyses sont faites avec grand soin aux usines du Creusot ; les documents que nous avons empruntés aux registres des essais méritent donc toute confiance.

Le silicium, dont l'élimination au convertisseur est assurée, n'est pas dosé régulièrement dans l'acier basique ; on s'est seulement assuré, à diverses reprises, que ce corps n'existait plus dans cet acier qu'à l'état de traces.

Dans les aciers acides le phosphore n'est pas non plus dosé régulièrement ; toutefois, les essais ont été assez nombreux pour montrer que sa teneur varie entre 0,065 et 0,085 p. 100, soit comme moyenne 0,075.

Nous croyons ne pas devoir insister davantage sur ces tableaux graphiques qui se comprennent aisément à première vue, et nous nous bornerons à en déduire les conclusions suivantes :

Silicium. — L'acier acide contient toujours des proportions notables de silicium, parfois même plus que de carbone. L'acier basique n'en renferme, au contraire, que des traces.

Phosphore. — L'acier basique serait un peu moins phosphoreux que l'acier acide.

Soufre. — Le soufre lui-même paraît être en proportions moindres dans l'acier basique.

Carbone. — La teneur en carbone est sensiblement plus élevée dans l'acier basique que dans l'autre.

Manganèse. — La proportion de ce corps est très variable dans l'acier, quel que soit le mode de fabrication.

La composition moyenne des deux variétés d'acier, résultant des tableaux graphiques ci-dessus, peut se résumer approximativement dans les formules suivantes :

	Acier basique.	Acier acide.
Carbone.	0,43	0,40
Silicium.	traces	0,30
Manganèse	0,78	0,66
Phosphore	0,060	0,075
Soufre.	0,029	0,040

On peut dire que la propriété caractéristique de l'acier basique est de ne contenir que des traces de silicium (*); il est ainsi plus pur que l'acier acide, et présente une composition plus uniforme.

On est, par suite, conduit à penser, en se basant seulement sur les compositions chimiques, que le métal basique doit donner des résultats plus réguliers, aux essais mécaniques, que l'acier acide.

§ 2. — *Propriétés mécaniques.* — Les propriétés mécaniques des aciers sont mises en évidence par deux séries d'essais : 1° Essais à la traction sur des barrettes rondes; 2° Essais des rails au choc et à la flexion, conformément aux prescriptions des cahiers des charges imposés aux maîtres de forges.

Essais à la traction (**). — MM. Schneider nous ont communiqué les résultats fournis, en août et septembre 1881, par les essais à la traction sur des barrettes rondes de 16 millimètres de diamètre et présentant une longueur de 10 centimètres entre les deux repères d'observation. Ces expériences ont été faites, comme les analyses chimiques, sur chaque coulée de métal basique, et sur une coulée de métal acide toutes les 24 heures.

Les tableaux graphiques (*fig.* 3 et 4, Pl. V) mettent en parallèle les résultats obtenus pour les deux variétés de métal, soit au point de vue des efforts de rupture, soit au point de vue des allongements.

(*) Le silicium contribuant à durcir le métal, l'acier basique devra, toutes choses égales d'ailleurs, pour avoir la même dureté que l'acier acide, renfermer un peu plus de carbone. C'est aussi ce qu'indiquent les analyses précitées.

(**) Ces essais ne sont pas obligatoires pour les maîtres de forges. MM. Schneider les effectuent néanmoins d'une façon très régulière, à l'effet de contrôler la fabrication.

Les moyennes correspondant à la période considérée sont :

	Acier basique.	Acier acide.
	k.	k.
Effort de rupture (par millim. carré).	72,00	73,20
Coefficient d'allongement.	16,10 p. 100	17,20 p. 100

Ces résultats sont très comparables ; ils correspondraient cependant à un léger avantage en faveur des aciers acides. Mais en revanche, on doit faire observer que, pour les aciers basiques, les écarts entre les résultats partiels sont un peu moindres que pour les aciers acides ; ainsi, pour les premiers, l'effort de rupture varie entre 66 et 78 kilos, et le coefficient d'allongement entre 12 et 20 p. 100, tandis que pour les seconds, l'effort de rupture oscille entre 63 et 80 kilos et le coefficient d'allongement entre 12 et 23 p. 100. Il y aurait donc un peu plus de régularité dans la qualité des produits déphosphorés.

Essais sur les rails (*). — Les épreuves sur les rails comprennent des essais statiques ou à la flexion, et des essais dynamiques ou au choc.

De nombreux essais ont été opérés, au Creusot, sur des rails de divers types, fabriqués soit en acier basique, soit en acier acide. Nous ne saurions les reproduire tous ; nous nous bornerons à faire connaître les résultats des épreuves très complètes effectuées, en septembre 1881, sur des rails du type Est. (*Vignole* 30 *kilos*).

Durant ce mois, il a été essayé 12 rails en acier déphosphoré et 13 rails en acier ordinaire. On a obtenu les résultats relatés dans les tableaux ci-contre :

(*) Ces essais sont effectués, en présence des fournisseurs, par les agents réceptionnaires de l'Etat ou des compagnies de chemins de fer.

ESSAIS STATIQUES.

Le rail étant placé sur deux points d'appui écartés de 1m,10, on a exercé successivement, au milieu de l'intervalle des supports, les pressions suivantes, qui ont été maintenues pendant 5 minutes : 10, 15, 17, 20, 25 et 30 tonnes. On a mesuré les flèches : 1° sous charge; 2° après que la pression avait cessé d'agir. — Ces dernières sont désignées sous le nom de flèches permanentes (F. P.), par opposition aux autres appelées flèches mobiles (F. M.).

DÉSIGNATION des aciers.	FLÈCHES SOUS LES CHARGES DE											
	10 tonnes.		15 tonnes.		17 tonnes.		20 tonnes.		25 tonnes.		30 tonnes.	
	F. M	F. P	F. M	F. P	F. M	F. P	F. M	F. P	F. M	F. P	F. M	F. P
	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.
Aciers acides.	2,2	0,2	3,2	0,3	3,8	0,5	4,9	0,8	13,3	7,9	32,5	[illegible]
	2,2	0,2	3,2	0,3	3,7	0,6	4,8	0,8	13,0	7,8	32,3	[illegible]
	2,3	0,2	3,2	0,3	3,4	0,4	4,4	0,5	21,2	16,0	35,3	[illegible]
	3,4	0,3	3,6	0,6	4,2	0,8	5,1	1,1	11,6	6,8	28,2	[illegible]
	1,9	0,1	3,0	0,2	3,5	0,3	4,3	0,4	9,8	4,5	30,2	[illegible]
	2,2	0,1	3,4	0,3	4,0	0,6	4,9	1,2	16,0	11,8	37,7	[illegible]
	2,0	0,1	3,1	0,2	3,8	0,5	4,7	0,9	8,5	3,8	23,2	[illegible]
	2,2	0,3	3,2	0,4	3,6	0,5	4,5	0,7	13,2	8,3	31,2	[illegible]
	2,5	0,1	3,5	0,3	3,9	0,5	4,4	0,7	9,2	5,3	28,1	[illegible]
	2,1	0,0	2,9	0,1	3,4	0,2	4,2	0,5	10,8	5,9	26,3	[illegible]
	3,0	0,3	4,3	0,6	5,1	0,8	7,4	2,5	17,3	11,5	33,4	[illegible]
	2,3	0,1	3,4	0,2	3,9	0,4	5,0	1,0	17,3	11,9	37,1	[illegible]
	2,2	0,2	3,2	0,3	3,8	0,5	4,9	0,8	13,3	7,9	32,5	[illegible]
Moyennes. .	2,35	0,17	3,3	0,3	3,8	0,51	4,89	0,92	13,4	8,4	31,5	[illegible]
Aciers basiques.	2,2	0,0	2,8	0,0	3,6	0,0	4,9	0,7	14,6	8,6	30,2	[illegible]
	3,2	0,0	3,7	0,0	4,1	0,0	4,9	0,2	10,0	4,3	23,3	[illegible]
	2,9	0,2	3,7	0,2	4,3	0,3	5,0	0,5	10,2	4,4	21,7	[illegible]
	2,6	0,0	3,5	0,1	3,9	0,1	5,1	1,6	13,9	8,2	30,7	[illegible]
	3,6	0,0	3,8	0,1	4,4	0,4	5,6	1,0	12,1	6,7	28,1	[illegible]
	2,2	0,1	3,1	0,2	3,4	0,3	4,4	0,7	12 1	7,4	29,4	[illegible]
	1,8	0,1	2,8	0,2	3,2	0,3	3,8	0,4	11,1	6,4	30,0	[illegible]
	1,9	0,1	2,9	0,2	4,0	0,3	4,6	0,4	12,2	7,5	29,1	[illegible]
	2,1	0,1	3,3	0,3	3,7	0,4	4,8	0,7	10,5	5,2	21,2	[illegible]
	2,4	0,0	3,2	0,1	3,7	0,3	4,4	0,5	8,1	3,4	25,6	[illegible]
	2,2	0,0	3,1	0,0	3,6	0,1	4,5	0,4	10,9	5,6	27,4	[illegible]
	2,1	0,2	3,0	0,2	3,5	0,3	4,1	0,4	10,8	6,5	34,1	[illegible]
Moyennes. .	2,43	0,07	3,24	0,13	3,8	0,23	4 62	0 46	11,4	6,2	27,8	[illegible]

ESSAIS DYNAMIQUES.

Le rail étant placé sur deux points d'appui distants de 1m,10, on laisse tomber en son milieu un mouton de 300 kilog. On imprime à ce mouton des hauteurs de chutes variables, et on mesure chaque fois la flèche acquise par le rail. (Ce sont les deux moitiés des rails, qui ont été rompus à la suite des essais statiques relatés ci-dessus, qui sont utilisées pour les essais dynamiques.)

DÉSIGNATION des aciers.	FLÈCHE SOUS DES HAUTEURS DE CHUTE DE :																	
	1 mètre.		1m,50.		2 mètres.		2m,25.		2m,50.		3 mètres.		3m,50.		4 mètres.		4m,50.	
	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.	1re moitié.	2e moitié.
	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.
Aciers acides.	3	3	10	10	16	15	22	22	29	30	39	38	48	48	58	59	69	70
	3	3	9	8	15	15	22	22	30	29	38	38	47	48	58	58	68	70
	3	3	9	9	17	17	25	26	34	35	46	47	57	57	70	70	C (1)	C
	3	3	8	9	16	17	22	24	31	32	40	42	52	53	66	66	75	79
	3	3	7	7	14	14	21	22	28	29	37	38	48	49	60	61	70	71
	3	3	9	8	14	15	22	23	31	32	40	40	48	49	59	62	67	70
	2	2	7	7	12	13	18	20	25	27	33	37	42	43	52	53	62	64
	3	3	8	8	14	15	22	29	30	40	38	38	48	50	60	60	72	73
	3	3	9	9	16	16	23	24	31	32	41	42	52	53	64	64	76	77
	3	3	7	8	14	14	21	22	27	27	32	33	44	45	56	57	67	68
	3	2	8	7	14	13	21	21	28	28	35	36	47	46	57	56	68	68
	2	2	7	7	14	14	21	22	29	28	38	37	49	48	59	56	71	67
	3	2	8	8	16	15	22	22	29	30	39	38	48	48	58	59	69	70
Moyennes.	2,8	2,7	8,1	8,1	15,5	14,8	21,7	23,0	29,4	30,7	38,2	38,7	48,5	49,0	60,0	60,0	69,5	70,6
Aciers basiques.	2	2	7	6	14	14	21	20	28	28	36	35	43	44	53	53	59	60
	2	2	6	6	12	13	18	19	25	26	32	34	41	43	50	51	C	59
	2	2	6	6	12	12	18	20	24	26	32	32	39	40	47	48	59	58
	3	2	8	7	15	15	21	22	29	30	37	37	47	48	60	60	68	69
	2	2	6	7	11	13	18	19	23	24	32	32	44	42	51	52	63	63
	2	2	8	8	12	13	18	19	25	27	34	35	47	47	56	57	67	68
	2	3	7	8	14	14	22	22	28	30	37	40	46	48	55	58	67	68
	2	2	7	7	13	13	21	22	29	30	37	38	45	47	55	57	64	66
	2	2	7	7	12	12	19	19	25	25	33	33	43	42	53	53	65	64
	2	3	7	8	13	14	21	22	28	30	36	38	47	50	58	62	71	74
	2	2	7	7	13	14	19	20	26	28	34	36	43	43	52	53	63	65
	3	3	8	8	15	14	22	22	31	31	39	37	50	48	61	59	75	73
Moyennes.	2,2	2,3	7	7,1	13,0	13,4	19,8	20,5	26,8	27,9	34,9	35,6	44,3	45,1	54,2	55,0	65,6	65,6

(1) C signifie cassé.

Ces tableaux montrent qu'il y a une très grande parité entre les deux variétés de rails, et qu'elles semblent s'équivaloir (*).

C'est à une conclusion identique que conduirait l'examen des autres essais opérés au Creusot.

Aussi, M. le ministre des travaux publics a-t-il, le 9 décembre 1881, décidé qu'il y avait lieu d'admettre au même titre, pour les fournitures des rails commandés par l'État, les deux variétés d'acier.

§ 3. *Structure physique.* — Les essais chimiques et mécaniques ne suffisent pas absolument pour apprécier la qualité d'un métal; la structure physique joue également un rôle important. Ainsi un inconvénient sérieux s'est révélé, dès le début, dans la fabrication de l'acier basique; les lingots avaient leur surface garnie de soufflures de 2 ou 3 centimètres d'épaisseur. Pendant le laminage ces cavités disparaissaient bien, mais leurs parois ne se soudaient pas; la partie superficielle des rails présentait donc un grand nombre de fentes imperceptibles qui devaient nuire à la résistance.

Heureusement on est arrivé à remédier à ce défaut. On a reconnu, en effet, que les lingots provenant des opérations froides sont chargés de soufflures, tandis que ceux résultant des opérations chaudes n'en présentent qu'une croûte très peu épaisse (2 ou 3 millimètres au plus), qui disparaît par oxydation, lors du réchauffage.

Le remède aux défauts des lingots basiques était donc tout indiqué. Il fallait conduire l'opération de telle sorte que le métal fût à une haute température au moment de la coulée. On a atteint ce but par les moyens suivants :

(*) On peut remarquer incidemment que les rails basiques auraient été, pendant la période considérée, légèrement plus durs que les rails ordinaires.

allure très chaude imprimée aux hauts-fourneaux; installation des fours de calcination à côté des convertisseurs, de manière à ce que la chaux additionnée soit à une température élevée; augmentation de la teneur en phosphore des fontes traitées.

Grâce à l'adoption de ces mesures, les lingots basiques ne renferment actuellement pas plus de soufflures superficielles que les lingots acides.

Nous croyons ne pas devoir quitter ce sujet, sans faire remarquer que les soufflures se produisent également dans les opérations acides, lorsque ces dernières sont froides. Les expériences suivantes, auxquelles nous avons assisté aux usines du Creusot, mettent nettement ce fait en évidence.

On a pratiqué dans deux cornues Bessemer à revêtement silicieux, avec des fontes identiques, deux opérations simultanées; mais l'une d'elles était chaude, tandis que l'autre avait été rendue froide par de fortes additions de fonte et de riblons (*).

Or les lingots de la coulée froide étaient, à leur surface, criblés de soufflures régnant sur une hauteur de 25 millimètres environ, tandis que ce défaut n'existait pas dans les lingots de la coulée chaude.

Ces expériences démontrent, bien qu'il soit difficile de l'expliquer théoriquement, que la température de l'acier,

(*) Le tableau suivant résume la marche des opérations :

	COULÉE CHAUDE.	COULÉE FROIDE.
Fonte liquide (prise directement au haut fourneau)	6.500 kilog.	6.500 kilog.
Additions. Fonte froide	600 } 1.000 —	1.600 } 2.500 —
Additions. Ferraille d'acier	400 }	900 }
Spiegel eisen	400 —	480 —
Totaux	7.900 kilog.	9.480 kilog.
Durée de l'opération	25 minutes	24 minutes
Aspect de l'acier après la coulée	Tranquille	Remontant

au moment de la coulée, joue un rôle considérable dans la formation des soufflures (*).

DÉPHOSPHORATION AU FOUR A RÉVERBÈRE

Nous nous bornerons à présenter, au sujet de la déphosphoration au four à réverbère, des considérations très succinctes, attendu que nous n'avons pas été appelé à apprécier la qualité des produits fabriqués.

Le four employé est le même que celui qui sert à la fabrication de l'acier Martin; la seule différence consiste en ce que la sole est constituée par un pisé de chaux magnésienne de même nature que celui employé pour les cornues Bessemer. La voûte est en briques siliceuses; un cordon de bauxite est intercalé entre le pisé et les briques.

Le four est chauffé, comme d'habitude, par la combustion des gaz de générateurs Siemens.

On charge de la fonte phosphoreuse, et on dissout successivement dans le bain du fer commun.

L'affinage se produit sous l'influence du courant gazeux, comme dans une opération ordinaire. On ajoute, à trois ou quatre reprises, de la chaux, à l'effet de rendre les scories très basiques; de temps en temps, on enlève ces dernières avec un râteau.

Grâce à cet excès de bases, le silicium disparaît com-

(*) D'autres circonstances ont également de l'influence sur la formation des soufflures. On sait que les aciers doux y sont plus sujets que les aciers durs, et la compagnie de Terrenoire a montré que le silicium jouait aussi, à cet égard, un rôle important. Nous n'insisterons pas davantage sur ces considérations, notre but étant seulement de montrer que lorsque l'acier pour rails est coulé très chaud, il est exempt de soufflures superficielles, et qu'on a pu, en élevant la température dans le convertisseur, parer aux inconvénients qui s'étaient manifestés au début de l'application des méthodes de déphosphoration.

plètement, et le phosphore est éliminé presque en totalité.

Le départ des divers corps s'effectue dans le même ordre qu'au convertisseur Bessemer, de sorte que l'affinage comprend également les phases successives suivantes : scorification, décarburation, sursoufflage.

On apprécie, comme au convertisseur, au moyen de prises d'essai, le moment où il convient d'arrêter l'affinage, et de procéder à la recarburation par une addition de spiegel.

Une opération dure environ douze heures, et permet d'obtenir à peu près 15 tonnes.

Les avantages que présente le four à réverbère sur le convertisseur sont les suivants :

1° Confection et réparation de la sole basique beaucoup plus faciles ;

2° Température du bain obtenue indépendamment des combustions du silicium, du carbone, du phosphore, etc., de telle sorte qu'on n'est pas astreint à traiter une fonte contenant une proportion élevée de corps étrangers ;

3° Expulsion très aisée des scories, au moyen d'un râteau ; il est facile de s'en débarrasser à un moment quelconque de l'opération, tandis qu'au Bessemer elles ne peuvent être évacuées que lorsqu'elles sont devenues fluides ; l'élimination du phosphore est ainsi mieux assurée, et la rentrée de ce corps, lors de l'addition de spiegel, est moins à craindre ;

4° Durée plus longue de l'affinage, prises d'essai plus faciles ; on est par suite mieux maître de la conduite de l'opération.

La fabrication de l'acier basique est donc beaucoup plus facile au four à réverbère qu'au convertisseur ; tel est le motif pour lequel MM. Schneider ont eu, dès le début, comme nous l'avons déjà signalé, un plein succès au four Martin-Siemens.

L'analyse suivante correspond à un acier doux, fabri-

briqué au Creusot avec des fontes et des fers phosphoreux.

Carbone......	0,16	p. 100
Silicium	traces	
Soufre	0,03	—
Phosphore	0,03	—
Manganèse....	0,25	—

Les produits seront d'autant meilleurs qu'on fera usage de matières premières moins impures; on arrivera notamment à obtenir des aciers de premier ordre en traitant un mélange de fontes de choix et de fers fins ou d'aciers de bonne qualité.

RÉSUMÉ ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

En résumé, on peut dire que le problème de la fabrication de l'acier au moyen de fontes phosphoreuses est résolu, aussi bien au convertisseur Bessemer qu'au four à réverbère, grâce à l'emploi d'un revêtement de chaux magnésienne.

L'élimination du phosphore est aussi satisfaisante que possible; celle du silicium est presque complète, et le soufre lui-même est expulsé en proportions notables.

Il ressort des analyses comparatives effectuées en août et septembre 1881, que les aciers basiques sont plus purs que les aciers acides, et présentent une composition plus uniorme.

Les essais mécaniques à la traction montrent que les résultats fournis par les aciers Bessemer basiques sont sensiblement plus réguliers que ceux donnés par les aciers acides.

Les rails fabriqués avec ces deux variétés d'acier se comportent de la même manière aux épreuves statiques et dynamiques.

L'inconvénient que présentaient les soufflures des lingots, au début de la fabrication de l'acier basique, a été écarté en élevant la température du métal au moment de la coulée.

L'Etat a été ainsi conduit à accepter indifféremment, pour ses fournitures de rails, l'une ou l'autre des deux variétés d'acier.

Au four à réverbère, la fabrication basique offre plus de facilité qu'au convertisseur, et la déphosphoration de la fonte est plus complète.

Les métallurgistes sont donc aujourd'hui en possession de deux procédés différents pour fabriquer de l'acier, soit au convertisseur, soit au four à réverbère.

L'un de ces procédés consiste à traiter des produits purs dans des appareils munis de revêtements siliceux.

Dans l'autre, on opère l'affinage de produits impurs en présence de revêtements basiques.

On est naturellement conduit à se poser la question suivante :

Puisque, toutes choses égales d'ailleurs, les revêtements en chaux magnésienne permettent un affinage beaucoup plus complet que les revêtements siliceux, n'y aurait-il pas lieu de traiter exclusivement, dans des appareils basiques, toutes les fontes, même celles qui proviennent de minerais purs? Ces dernières donneraient alors des aciers d'une grande pureté.

En ce qui concerne le four à réverbère, nous pensons, en effet, qu'on sera amené à remplacer, dans bien des cas, les soles siliceuses par des soles en chaux magnésienne. La conduite d'une opération basique ne présente, en effet, comme nous l'avons expliqué plus haut, aucune difficulté.

Mais il n'en est pas de même au convertisseur; on ne réussirait pas à traiter avantageusement, dans une cornue avec revêtement basique, les fontes qui servent au traitement acide.

Ces dernières sont, en effet, riches en silicium, et nous avons montré précédemment que cette circonstance présentait un grave obstacle.

D'un autre côté, si on réglait l'allure des hauts fourneaux, de telle sorte que les fontes fussent peu siliceuses, les combustions intermoléculaires ne développeraient probablement pas un nombre de calories suffisant pour assurer la liquidité du bain et des scories.

Le traitement des fontes pures au convertisseur basique rencontre donc des obstacles. On pourrait sans doute y arriver en pratiquant l'opération du transvasement, qui a été préconisée par quelques ingénieurs, c'est-à-dire en laissant s'opérer la scorification dans une cornue à revêtement siliceux, puis en versant le métal dans une cornue à revêtement basique, où se terminerait l'affinage. Mais ce procédé aurait le grave inconvénient d'être coûteux et compliqué.

Nous n'insisterons pas davantage sur cette question, dont la solution appartient au domaine de l'avenir.

Châlon-sur-Saône, le 18 février 1882.

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1880 ET EN 1881. (*)

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DU COMBUSTIBLE.	PRODUITS. 1880	PRODUITS. 1881
		tonnes.	tonnes.
Ain	Lignite	139	88
Allier	Houille et anthracite	882.819	898.651
Alpes (Basses-)	Lignite	33.782	44.540
Alpes (Hautes-)	Anthracite	6.258	6.200
Alpes-Maritimes	Houille	»	10
Ardèche	Houille et anthracite	24.559	26.091
	Lignite	1.602	1.776
Aude	Idem	132	195
Aveyron	Houille	677.238	737.482
	Lignite	5.506	5.158
Bouches-du-Rhône	Idem	457.670	458.434
Calvados	Houille	4.455	»
Cantal	Idem	2.571	4.583
Corrèze	Idem	4.383	3.717
Côte-d'Or	Houille et anthracite	9.279	8.639
Creuse	Idem	142.143	166.876
Dordogne	Lignite	2.430	3.271
Drôme	Idem	125	18
Gard	Houille	1.923.627	2.026.884
	Lignite	20.214	15.258
Hérault	Houille et anthracite	243.857	266.275
	Lignite	726	708
Isère	Anthracite	119.236	111.360
	Lignite	2.193	2.300
Loire	Houille et anthracite	3.591.751	3.474.893
Loire (Haute-)	Houille	231.535	227.534
Loire-Inférieure	Anthracite	17.654	16.295
Lot	Houille	1.795	1.772
Maine-et-Loire	Anthracite	32.884	30.060
Mayenne	Houille et anthracite	62.979	67.956
Nièvre	Houille	207.430	201.563
Nord	Houille et anthracite	3.701.589	3.668.738
Pas-de-Calais	Houille	4.844.323	5.320.616
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	187.769	173.354
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.575	1.724
Rhône	Houille	33.940	28.447
Saône (Haute-)	Idem	187.093	178.610
	Lignite	10.479	10.577
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.282.257	1.295.381
Sarthe	Anthracite	17.759	16.885
Savoie	Idem	13.795	15.781
Savoie (Haute-)	Houille	»	120
	Lignite	2.330	2.078
Sèvres (Deux-)	Houille	21.515	19.022
Tarn	Idem	306.870	340.460
Var	Houille et anthracite	4.039	786
	Lignite	2.187	786
Vaucluse	Idem	8.942	12.202
Vendée	Houille	17.365	17.583
Vosges	Lignite	6.815	2.380
Récapitulation	Houille et anthracite	18.804.767	19.347.569
	Lignite	556.797	561.488
	Totaux	19.361.564	19.909.057
Augmentation			547.493

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal Officiel* du 24 février 1882. Les chiffres concernant l'année 1881 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires*; tandis que la statistique de 1880, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

PRODUCTION PAR BASSIN.

NOMS DES GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS.	PRODUITS. 1880	PRODUITS. 1881	NOMS DES BASSINS ÉLÉMENTAIRES. (1)	PRODUITS. 1880	PRODUITS. 1881
	tonnes.	tonnes.		tonnes.	tonnes.
			I. — Houille et Anthracite.		
Nord et Pas-de-Calais	8.545.912	8.989.349	Valenciennes	8.450.697	8.932.020
			Le Boulonnais (Hardinghen)	95.215	57.329
Loire	3.637.845	3.517.940	Saint-Etienne	3.583.041	3.471.543
			Sainte-Foy-l'Argentière	33.940	28.447
			Communay	12.154	14.600
			Le Roannais (Roanne)	3.710	3.350
Gard	1.948.186	2.052.975	Alais	1.935.604	2.037.023
			Le Vigan	9.824	10.127
			Aubenas	2.758	5.825
Bourgogne et Nivernais	1.548.185	1.545.619	Creusot et Blanzy	1.124.037	1.133.694
			Decize	207.430	201.563
			Epinac et Aubigny-la-Ronce	131.983	139.677
			Bert	49.218	40.036
			La Chapelle-sous-Dun	27.612	22.697
			Sincey, *Forges*	7.905	7.952
Tarn et Aveyron	985.903	1.079.714	Aubin	663.551	722.356
			Carmaux	306.870	340.460
			Rodez	13.687	15.126
			Saint-Perdoux	1.795	1.772
Bourbonnais	967.135	966.224	Commentry (et Doyet)	797.610	822.556
			Saint-Eloy	133.534	112.609
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	34.531	31.002
			La Queune (Fins et Noyant)	1.460	57
Auvergne	288.340	292.812	Brassac	256.377	264.370
			Langeac	25.678	16.788
			Champagnac et Bourg-Lastic	6.285	11.654
Hérault	[illegible]	266.275	Graissessac, *Roujan*	243.857	266.275
		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible]euse et Corrèze	146.526	170.503	Ahun	[illegible]	[illegible]
			Cublac (Terrasson), Meimac et [illegible]	1.984	3.717
			Bourganeuf	4.389	2.104
Ouest	174.611	167.801	Le Maine	79.982	84.841
			Basse-Loire	50.538	46.355
			Vouvant et Chantonnay	38.880	36.605
			Le Cotentin (Littry, *Le Plessis*)	4.455	»
			Saint-Pierre-La-Cour	756	»
Alpes occidentales	127.135	118.861	Le Drac (La Mure)	106.329	96.000
			Maurienne-Tarentaise et Briançon	20.053	21.981
			Oisans et *le Graisivaudan*	753	760
			Chablais et Faucigny	»	120
Maures	4.039	796	Les Maures (Fréjus)	4.039	796
Pyrénées	»	»	*Ibantelly, Durban et Ségure*	»	»
Totaux pour les houilles	18.804.767	19.347.569		18.804.767	19.347.569

II. — Lignite.

Provence	493.589	503.760	Le Fuveau (Aix)	458.380	458.434
			Manosque	33.732	44.540
			La Cadière	1.477	786
Languedoc et Comtat	31.449	29.475	Bagnols, Orange, Banc-Rouge, *Vagnas*	22.744	22.023
			Barjac et Célas	5.055	2.762
			Méthamis	2.792	3.787
			La Caunette, *Montoulieu*	858	903
Vosges méridionales	17.294	12.957	Gouhenans	10.479	10.577
			Norroy, *Gémonval*	6.815	2.380
Guyenne	8.103	9.088	Millau (et Trévezel)	5.673	5.817
			Symeyrols et la Chapelle-Péchaud	2.430	3.271
Haut-Rhône	4.787	4.484	La Tour-du-Pin	2.193	2.300
			Entrevernes et *Chambéry*	2.330	2.078
			Douvres, Hauterives (Montélimar)	264	106
Sub-Pyrénéen	1.575	1.724	Estavar, *Orignac, Saint-Lon, Larquier*	1.575	1.724
Totaux pour les lignites	556.797	561.488		556.797	561.488
Totaux généraux	19.361.564	19.909.057		19.361.564	19.909.057

(1) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées dans l'année ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie Sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DE LA FONTE.	1880 — FONTES d'affinage.	1880 — FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1880 — PRODUCTION totale.	1881 — FONTES d'affinage.	1881 — FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1881 — PRODUCTION totale.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allier	Au coke	69.274	6.896	76.170	83.827	10.025	93.852
Ardèche	Au coke	77.620	21.056	98.676	81.923	17.887	99.810
Ardennes	Au coke	15.037	»	16.076	18.270	1.792	20.367
	Au bois	504	535		142	163	
Ariège	Au coke	20.994	»	20.994	26.390	»	26.390
Aveyron	Au coke	23.202	2.598	25.800	25.058	2.855	27.913
Bouches-du-Rhône	Au coke	18.030	2.550	20.580	25.059	669	25.728
Cher	Au coke	»	19.707	27.047	»	14.910	21.785
	Au bois	4.721	»		3.875	»	
	Mixte	»	2.619		»	3.000	
Corse	Au bois	5.287	»	5.287	5.486	»	5.486
Dordogne	Au bois	550	»	550	525	»	525
Doubs	Au bois	390	36	426	950	100	1.050
Eure	Au coke	1.971	»	1.971	2.786	»	2.786
Gard	Au coke	119.631	10.611	130.242	127.565	12.072	139.637
Gironde	Au bois	2.525	»	2.525	1.800	»	1.800
Hérault	Au coke	410	»	410	7.844	4.025	11.869
Ille-et-Vilaine	Au bois	72	1.575	1.647	23	1.965	1.988
Indre	Au bois	143	»	143	727	»	727
Isère	Au coke	32.690	809	36.313	32.065	1.367	36.492
	Au bois	1.263	134		786	88	
	Mixte	1.392	25		2.162	24	
Landes	Au bois	9.782	5.614	15.396	10.496	5.716	16.212
Loire	Au coke	60.732	256	60.988	59.777	814	60.591

Loire-Inférieure	Au coke	155	6.280	6.786	2.052	8.915	11.297
	Au bois	371	•		390	•	
Lot-et-Garonne	Au coke	235	14.370	14.605	241	15.707	16.452
	Au bois	»	»		504	»	
Marne	Au coke	»	1.773	1.773	»	2.689	2.689
Marne (Haute-)	Au coke	19.343	30.567	74.821	18.612	27.921	77.240
	Au bois	4.345	»		4.646	»	
	Mixte	9.377	11.189		12.465	13.596	
Mayenne	Au coke	»	2.957	2.957	•	2.294	2.294
Meurthe-et-Moselle	Au coke	403.942	131.348	538.132	411.236	193.055	606.110
	Au bois	2.727	115		1.623	196	
Meuse	Au coke	2.627	7.240	11.676	3.279	7.128	11.269
	Au bois	535	»		»	»	
	Mixte	»	1.274		•	862	
Nord	Au coke	180.458	42.966	223.424	239.419	»	239.419
Pas-de-Calais	Au coke	39.581	12.000	51.581	34.717	21.045	55.762
Pyrénées-Orientales	Au coke	»	»	13.220	2.316	»	12.283
	Au bois	11.170	»		9.451	»	
	Mixte	2.050	»		516	»	
Rhône	Au coke	68.205	2.557	70.762	87.285	»	87.285
Saône (Haute-)	Au bois	1.037	955	1.992	2.688	1.202	3.890
Saône-et-Loire	Au coke	169.974	812	170.786	172.604	1.043	173.647
Sarthe	Mixte	»	908	908	»	216	216
Savoie	Au bois	»	504	504	»	»	»
Savoie (Haute-)	Au coke	»	125	125	»	»	»
Récapitulation	Au coke	1.324.111	317.458	1.641.569	1.462.325	346.213	1.808.538
	Au bois	45.422	9.468	54.890	44.052	9.430	53.482
	Mixte	12.819	16.015	28.834	15.143	17.698	32.841
Totaux		1.382.352	342.941	1.725.293	1.521.520	373.341	1.894.861
Augmentations					139.168	30.400	169.568

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1880 RAILS	1880 FERS marchands et spéciaux.	1880 TÔLES.	1880 PRODUCTION totale.	1881 RAILS	1881 FERS marchands et spéciaux.	1881 TÔLES.	1881 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Puddlé	»	»	1.225	1.225	»	»	1.190	1.190
Allier	Idem	2.298	20.865	10.414	35.993	3.091	20.706	11.171	35.797
	Affiné au charbon de bois	»	1.616	800		»	829	»	
Ardennes	Puddlé	500	42.959	11.972	65.294	»	44.536	15.727	76.599
	Affiné au charbon de bois	»	128	9.735		»	105	»	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	5.561	10.670	
Ariège	Puddlé	»	17.300	»	17.770	»	19.840	»	20.369
	Affiné au charbon de bois	»	470	»		»	529	»	
Aube	Puddlé	»	4.551	»	7.153	»	4.634	»	6.759
	Affiné au charbon de bois	»	2.602	»		»	»	»	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	2.125	»	
Aveyron	Puddlé	8.858	11.343	3.370	23.571	1.776	14.214	4.072	20.062
Bouches-du-Rhône	Puddlé	»	»	»	1.316	»	130	»	1.356
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	1.316	»		»	1.226	»	
Charente	Puddlé	»	500	»	600	»	»	»	100
	Affiné au charbon de bois	»	100	»		»	100	»	
Cher	Puddlé	»	1.650	»	2.970	»	»	»	488
	Affiné au charbon de bois	»	1.320	»		»	488	»	
Corse	Idem	»	15	»	15	»	10	»	10
Côte-d'Or	Puddlé	»	11.407	»	15.002	»	12.115	»	15.634
	Affiné au charbon de bois	»	2.386	21		»	1.816	15	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	377	811		»	188	1.500	
Côtes-du-Nord	Puddlé	»	3.411	»	3.411	»	1.870	»	[illegible]750
	Obt. pr réch. de vieux rails et de fer au coke	»	»	»		»	1.880	»	

Dordogne	Affiné au charbon de bois.........	»	670	»	670	»	1.495	»	1.495
»	Puddlé	»	»	123	16.002	»	»	130	14.770
Doubs	Affiné au charbon de bois.........	»	9.162	4.327		»	8.500	4.600	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers, massiaux et largets............	»	2.292	188		»	1.350	190	
Finistère..........	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	778	»	778	»	590	»	590
Gard	Puddlé	920	24.149	»	25.069	608	26.024	»	26.692
Garonne (Haute-).	Affiné au charbon de bois.........	»	4.965	»	4.965	»	2.702	»	4.426
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	1.724	»	
Gironde..........	Puddlé	»	213	»	1.327	»	485	»	2.165
	Affiné au charbon de bois.........	»	809	»		»	1.580	»	
	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	305	»		»	100	»	
Ille-et-Vilaine......	Idem	»	115	»	115	»	124	»	124
Indre............	Affiné au charbon de bois	»	581	»	581	»	365	»	365
Isère	Puddlé	109	9.142	816	11.475	»	9.983	1.224	13.422
	Affiné au charbon de bois.........	»	86	43		»	115	»	
	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	1.279	»		»	2.072	28	
Jura............	Puddlé	428	9.750	4.795	21.248	300	9.596	5.542	24.028
	Affiné au charbon de bois	»	70	415		»	229	588	
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	218	3.372	2.200		»	4.250	3.523	
Landes	Affiné au charbon de bois	»	2.507	»	2.507	»	3.443	»	3.443
Loir-et-Cher.......	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	104	»	104	»	71	»	71
Loire............	Puddlé	361	54.963	17.717	76.841	834	58.934	20.163	85.205
	Obt. p^r^ réch. de fers bruts et riblons.	»	3.800	»		»	5.274	»	
Loire-Inférieure ...	Puddlé	»	4.835	»	7.738	»	5.060	»	7.774
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	2.903	»		»	2.714	»	
Lot-et-Garonne....	Puddlé	»	»	»	80	»	50	»	50
	Affiné au charbon de bois	»	80	»		»	»	»	
Maine-et-Loire	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»	»	»	35	»	35
Marne (Haute-)....	Puddlé	»	80.265	7.007	88.978	»	75.955	5.096	87.116
	Affiné au charbon de bois	»	730	82		»	485	»	
	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	894	»		»	5.485	95	
	A reporter........	13.692	343.135	76.061	432.888	6.669	361.692	85.524	453.885

PRODUCTION DES FERS (*Suite*).

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1880 RAILS	1880 FERS marchands et spéciaux.	1880 TÔLES.	1880 PRODUCTION totale.	1881 RAILS	1881 FERS marchands et spéciaux.	1881 TÔLES.	1881 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
	Report...........	13.692	343.135	76.061	432.888	6.669	361.692	85.524	453.885
Meurthe-et-Moselle	Puddlé	»	33.380	8.305	42.720	»	34.245	9.187	44.096
	Affiné au charbon de bois	»	1.035	»		»	664	»	
Meuse	Puddlé	»	20.434	774	21.568	»	18.742	239	19.641
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	360	»		»	660	»	
Morbihan	Puddlé	»	»	3.583	6.346	»	»	3.400	5.949
	Affiné au charbon de bois	»	»	2.400		»	»	2.222	
	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	»	363		»	»	327	
Nièvre	Puddlé	711	15.955	»	19.298	741	13.795	»	15.399
	Affiné au charbon de bois	»	2.081	551		»	418	357	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	88	»	
Nord	Puddlé	24.848	237.498	23.058	285.429	19.263	279.788	23.677	322.728
	Affiné au charbon de bois	»	25	»		»	»	»	
Oise	Puddlé	»	22.871	11.335	39.744	»	26.119	11.038	42.025
	Affiné au charbon de bois	»	489	3.025		»	886	2.236	
	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	2.024	»		»	1.746	»	
Orne	Idem	»	150	»	150	»	140	»	140
Pas-de-Calais	Puddlé	»	»	»	110	»	43	»	43
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	110	»		»	»	»	
Pyrénées (Basses-).	Affiné au charbon de bois	»	144	»	144	»	»	»	»
PyrénéesOrientales.	Idem	»	566	»	566	»	560	»	560
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Idem	»	1.986	»	1.986	»	1.960	»	1.960
Saône (Haute-)	Puddlé	»	600	921	1.639	»	»	»	1.320
	Affiné au charbon de bois	»	118	»		»	366	740	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	»	214	
Saône-et-Loire	Puddlé	3.074	36.991	17.817	62.146	1.738	35.990	18.292	60.407
	Affiné au charbon de bois	»	104	4.160		»	»	4.280	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	107	»	

Sarthe [redacted]....	Affiné au charbon de bois.........	»	112	»	112	»	»	»	98
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	98	»	
Savoie............	Affiné au charbon de bois.........	»	75	»	197	»	58	»	179
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	122	»		»	121	»	
Savoie (Haute-)....	Puddlé........................	»	271	385	861	»	105	100	1.090
	Affiné au charbon de bois.........	»	130	75		»	230	75	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	380	200	
Seine............	Puddlé........................	»	2.807	»	27.243	»	1.127	»	26.936
	Obtenu par réchauffage de riblons.	»	24.436	»		»	25.809	»	
Seine-Inférieure...	Obtenu par réchauff. de vieux fers.	»	166	»	166	»	146	»	146
Seine-et-Oise......	Idem..........................	»	3.122	»	3.122	»	2.965	»	2.965
Somme..........	Puddlé........................	»	1.892	»	1.892	»	1.837	»	2.162
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	325	»	
Tarn............	Puddlé........................	»	747	»	1.274	»	1.186	»	1.976
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	527	»		»	790	»	
Tarn-et-Garonne...	Puddlé........................	»	»	»	»	»	60	»	60
Vienne........	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	90	»	90	»	85	»	85
Vienne (Haute-)...	Affiné au charbon de bois.........	»	625	»	625	»	»	»	»
Vosges...	Idem..........................	»	960	1.830	2.790	»	995	1.680	2.675
Yonne..........	Puddlé........................	»	12.600	»	12.645	»	12.600	»	12.645
	Affiné au charbon de bois.........	»	45	»		»	45	»	
Récapitulation...	Puddlé........................	42.107	682.867	122.696	847.670	28.411	729.769	130.248	888.428
	Affiné au charbon de bois.........	»	37.274	28.385	65.659	»	28.973	16.793	45.766
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	218	48.642	3.562	52.422	»	68.229	16.747	84.976
	Totaux...............	42.325	768.783	154.643	965.751	28.411	826.971	163.788	1.019.170
	Augmentations........................					»	58.188	9.145	53.419
	Diminution...........................					13.914	»	»	»

Observation. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués, ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DE L'ACIER.	1880 RAILS.	1880 ACIERS marchands.	1880 TÔLES.	1880 PRODUCTION totale.	1881 RAILS.	1881 ACIERS marchands.	1881 TÔLES.	1881 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin	18.500	2.987	194	21.932	18.700	5.158	76	24.221
	Puddlé	»	251	»		»	222	65	
Ardennes	Cémenté	»	2	»	387	»	2	»	72
	Fondu au creuset	»	47	»		»	32	»	
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	78	260		»	38	»	
Ariège	Puddlé	»	3.939	»	3.957	»	4.622	»	4.622
	Cémenté	»	18	»		»	»	»	
Aube	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin	»	»	»	»	525	310	»	835
Aveyron	Fondu au foyer Siemens-Martin	20.186	»	»	20 186	24 033	»	»	24.033
Charente	Idem	»	960	»	960	»	680	»	680
Côte-d'Or	De forge	»	150	»	400	»	295	»	545
	Cémenté	»	150	»		»	150	»	
	Fondu au creuset	»	100	»		»	100	»	
Côtes-du-Nord	Puddlé	»	22	»	45	»	15	»	44
	Cémenté	»	6	»		»	7	»	
	Fondu au creuset	»	17	»		»	22	»	
Finistère	Idem	»	4	»	4	»	3	»	3
Gard	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin	69.922	1.190	»	71.112	71.749	1.520	»	73.269
Garonne (Haute-)	Cémenté	»	115	»	115	»	112	»	112
Isère	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin	»	4.673	»	8.047	»	5.848	»	9.021
	Puddlé	»	2.280	»		»	2.073	»	
	Cémenté	»	484	»		»	408	»	
	Fondu au creuset	»	640	»		»	602	»	

Loire............	Puddlé et de forge..................	»	9.603	»		»	7.852	»	
	Cémenté..........................	»	1.163	»	116.326	»	2.692	»	122.538
	Fondu au creuset....................	»	5.626	216		»	5.934	288	
Meurthe-et-Moselle	Puddlé..............................	»	980	517	1.497	»	999	604	1.603
Meuse............	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	45	72	117	»	113	84	197
Morbihan.........	Fondu au foyer Siemens-Martin......	»	»	90	90	»	»	61	61
Nièvre...........	Idem	193	3.321	474		234	3.452	853	
	Puddlé..............................	»	295	»	4.746	»	256	»	5.221
	Fondu au creuset....................	»	456	7		»	420	6	
Nord.............	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	38.857	2.648	1.360		46.136	1.086	559	
	Cémenté.............................	»	50	»	43.245	»	»	»	47.781
	Fondu au creuset....................	»	330	»		»	»	»	
Oise.............	Fondu au foyer Siemens-Martin......	»	600	862	1.462	»	348	751	1.099
Rhône............	Fondu au foyer Bessemer............	»	»	»	»	»	»	»	»
Saône-et-Loire....	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	63.512	22.346	7.068	92.926	69.568	23.404	7.914	100.886
Seine............	Fondu au foyer Bessemer............	»	260	»	260	»	303	»	303
Tarn.............	Puddlé.............................	»	567	»		»	380	»	
	Cémenté............................	»	140	»	1.071	»	148	»	943
	Fondu au creuset....................	»	364	»		»	415	»	
Vosges...........	Cémenté............................	»	9	»	9	»	5	»	5
Récapitulation..	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	279.498	62.735	17.688	359.921	300.580	71.385	17.075	389.040
	Puddlé et de forge..................	»	18.087	517	18.604	»	16.714	669	17.383
	Cémenté.............................	»	2.137	»	2.137	»	3.614	»	3.614
	Fondu au creuset....................	»	7.554	223	7.777	»	7.528	294	7.822
	Obtenu par réchauffage de vieil acier..	»	123	332	455	»	151	84	235
	Totaux..................	279.498	90.636	18.760	388.894	300.580	99.392	18.122	418.094
	Augmentations..........................					21.082	8.756	»	29.200
	Diminution.............................					»	»	638	»

OBSERVATION. — Les lingots ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués, tels que les lingots du Rhône et une partie de ceux de l'Allier, ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

NOTE
SUR UN APPAREIL
DESTINÉ A LA DESCENTE DES HOMMES
DANS LES MINES DE VICTORIA (AUSTRALIE),

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, ingénieur en chef des mines,
Professeur d'exploitation à l'École des mines.

Je dois à l'obligeance de M. Raffard, ancien ingénieur des mines d'or de Victoria (Australie), la connaissance d'un appareil employé depuis longtemps déjà sur ces placers, pour la descente des ouvriers dans les puits peu profonds. Comme il m'a paru intéressant, et de nature à rendre d'utiles services dans nos marnières ou autres exploitations du même genre, je n'ai pu voir sans un certain étonnement que ce procédé fût resté pour ainsi dire inconnu en Europe, malgré l'insertion d'une note succincte de M. Raffard dans l'*Annuaire* de la Société des anciens élèves des Écoles nationales des Arts-et-Métiers pour 1872. Je n'ai, en effet, rencontré ce système sur aucun point, et les traités d'exploitation souterraine n'en font pas mention. J'ai cru utile, d'après cela, de décrire ici avec les développements nécessaires ce procédé vraiment ingénieux.

Lorsqu'une petite exploitation, dont la profondeur ne dépasse pas 40 mètres, ou tout au plus 50 mètres, n'occupe qu'un nombre très restreint d'ouvriers, deux d'entre eux, les plus robustes de tous, descendent avec les manivelles du treuil leurs camarades suspendus à la corde. A cet effet, le mineur s'assied dans une boucle formée par l'extrémité

de cette dernière, dont on agrafe le crochet de sûreté après la corde elle-même, au-dessus d'un nœud situé à un mètre environ de cette extrémité, pour empêcher le crochet de glisser et de serrer la boucle (Pl. V, *fig.* 5 et 6). L'ouvrier tient ce câble d'une main pour assurer sa propre verticalité. De l'autre, ou avec ses pieds, il maintient légèrement, de manière à pouvoir la saisir vivement en cas de danger, une *corde de sûreté*. Nous appellerons ainsi un ancien câble, encore bon, quoique ayant déjà fourni antérieurement une campagne comme *câble-porteur*. Il est agrafé à l'aide de son crochet de sûreté (*fig.* 7) à l'un des montants du treuil, autour duquel il fait un tour, et d'où il pend le long de la paroi jusqu'au fond du puits. Cette précaution évite le tournoiement, et assure une protection en cas de rupture du câble-porteur ou d'une avarie quelconque.

Mais la question change de face lorsque les deux moulineurs veulent descendre à leur tour, de manière à ce que personne ne reste inactif au dehors. Le moins fort des deux passe l'avant-dernier. Je le désignerai par A, et son poids par a. Le plus robuste descend le dernier. Nous l'appellerons D, et son poids d.

Le dernier ouvrier que A et D viennent de descendre à la manière ordinaire accroche au câble un seau rempli de minerai, et d'un poids capable d'alléger suffisamment la résistance que D oppose à la descente de A (*fig.* 5). Supposons-le, par exemple, de 30 kilogrammes. Le mouvement se fait dès lors comme précédemment, mais avec un seul moulineur qui résiste au poids $a - 30$, réduit dans le rapport inverse des rayons.

Il s'agit, enfin, pour le dernier ouvrier D, de descendre sans aucune aide du dehors. A cet effet A, après s'être dégagé du câble, substitue à sa propre personne un sac rempli de sable et noué à la gorge, qui ne sert qu'à cette fonction (*fig.* 6). Je le désignerai par S, et son poids par s. En même temps, A agrafe à ce sac le crochet qui termine le pied du câble

de sûreté, tout comme il vient de le faire pour celui du câble-porteur. Les deux cordes se trouvent donc, par l'intermédiaire du sac S, réunies par le bas, comme on le fera tout à l'heure pour le haut, de manière à former une *corde sans fin*. De là une première circonstance très importante : c'est qu'à partir de ce moment, il n'y aura pendant le mouvement aucune variation de poids du câble, contrairement à ce qui se passe quand il a deux bouts, dont l'un monte par le raccourcissement de ce brin, pendant que l'autre descend en allongeant l'autre brin. C'est, comme on le voit, un artifice identique à celui des anciens appareils employés à Saint-Étienne pour la descente des remblais, et des nouvelles machines d'extraction établies par M. Kœpe dans le bassin houiller de la Ruhr. Il ne faut pas omettre d'ajouter que l'adhérence avec le treuil s'obtient en y faisant faire au câble deux ou trois tours, qui naturellement se déplaceront latéralement suivant les génératrices pendant le mouvement de rotation (*fig.* 5 et 6).

Lorsqu'un cri poussé par le mineur A a averti D que tout est prêt dans le fond, celui-ci descend, après avoir pris les dispositions suivantes : il a commencé par détacher le seau qui avait servi de contre-poids pour la descente de A. Il verse le minerai sur la place de dépôt, et laisse le seau vide au bord du puits, pour une manœuvre qui sera indiquée tout à l'heure (*). Il détache alors le câble de sûreté du montant du treuil auquel il était fixé, et l'agrafe au câble-porteur, au-dessus du nœud qui se trouve à un mètre de son extrémité, en constituant ainsi, en haut comme en bas, le câble sans fin (*fig.* 6). Il reagrafe, en outre, cette même extrémité au-dessus du nœud, de manière à former, comme à toutes les descentes précédentes, une boucle dans laquelle il s'assied à son tour.

(*) Pour faciliter ces opérations sans avoir besoin de retenir la manivelle, on passe dans un trou du montant du treuil une broche qui s'oppose à la rotation du bras de cette manivelle.

Il saisit d'une main le câble-porteur pour assurer sa verticalité. Mais, en outre, il serre fortement de l'autre main le second brin, afin d'amortir par la vigueur de son bras la petite chute qu'il ferait sans cela dans le vide, jusqu'à ce que, le câble se trouvant tendu, le poids *s* commence à être soulevé et à contrebalancer celui de l'ouvrier. Ce poids *s* est d'ailleurs déterminé de manière à ne laisser subsister par rapport à *d* qu'une différence motrice très faible : 10 kilogrammes par exemple. Le bras du moulineur D pourra donc facilement tenir cette différence en respect (*), pour ralentir le mouvement suivant sa volonté. Disons en passant qu'il profite de cette faculté pour faire à cette occasion l'inspection des parois et du câble de sûreté.

Quand il arrive au fond, avant d'abandonner le câble, il commence par passer dans la boucle, à la place de sa propre personne, un bâton qu'il arc-boute contre les parois, de manière à l'empêcher de remonter. Le câble se trouve ainsi accroché et hors d'état de laisser redescendre le sac S, dont le poids *s* formera ainsi une réserve *potentielle* de travail pour servir, quand il le faudra, à remonter D après le poste.

Arrivons maintenant à cette seconde partie de l'opération. Les hommes remonteront dans l'ordre inverse : D tout seul le premier, puis A avec l'aide de D parvenu en haut ; et ensuite tous les mineurs successivement, par les efforts réunis de A et D. Nous n'avons naturellement à nous occuper ici que des deux premières ascensions.

Le moulineur D commence par reprendre place dans la boucle, en se substituant au bâton qui arc-boutait le câble. Puis il tire d'une main sur le second brin, en soutenant de l'autre au câble-porteur l'aplomb de son corps. Il n'aura

---

(*) On verra même dans un instant que l'effort à exercer est réduit à la moitié de cette différence par la constitution de l'appareil.

pour effectuer son ascension qu'à exercer un effort insignifiant. En effet, il se trouve en partie équilibré par le sac S, dont le poids n'est inférieur que de 10 kilog. à *d*. Mais ce n'est même pas l'effort $d - s = 10$ kilog. que le mineur aura à développer; ce n'est que sa moitié, ou 5 kilog. Cela tient à ce que sa main, en exerçant son effort sur le câble, parcourt un espace double de l'élévation de son corps à chaque instant. En effet, il faut, pour que l'homme parvienne en haut, qu'il fasse filer dans sa main toute la longueur de câble qui sépare cette main de la boucle dans laquelle il est assis. Or, cette longueur représente le double de la hauteur du puits, car le câble monte jusqu'au treuil, d'où il redescend jusqu'à la boucle. Cet effort moyen de 5 kilog. étant insignifiant, le moulineur s'élève facilement avec une vitesse continue de $0^m.75$ environ, bien qu'il ne développe que des actions intermittentes. On ne doit pas, du reste, chercher à dépasser cette vitesse, de peur de choquer les parois, ou le sac S, au moment de la rencontre.

Arrivé au jour, D sort de sa boucle. Il dégrafe le câble de sûreté qu'il rattache au montant du treuil (*fig.* 5). Il détache également l'extrémité du câble porteur, de manière à supprimer la boucle. Il rattache à cette extrémité le seau qui était resté vide au bord du puits depuis la descente de A, et qu'il remplit d'outils ou d'objets utiles à envoyer au fond ; de pierres, s'il n'a pas autre chose. Supposons encore que ce poids soit de 30 kilog.

Pendant ce temps, le moulineur A a également détaché du câble-porteur l'extrémité de la corde de sûreté, qui va dorénavant rester suspendue le long de la paroi du puits. Il reforme en boucle le bout du câble-porteur, en l'agrafant au-dessus de son nœud, s'assied dans cette boucle et remonte par l'effort de D, en maintenant sa verticalité d'une main, et glissant l'autre le long de la corde de sûreté, pour pouvoir l'étreindre vivement en cas de danger. Pour effectuer cette élévation, D n'a à développer que l'ef-

fort $a - 30$, réduit dans le rapport des rayons. Il faut, à la vérité, ajouter à $a - 30$ le poids du câble-porteur, qui n'est plus sans fin. Mais ce poids ira toujours en diminuant, circonstance favorable, pendant que s'accumulera pour le moulineur la fatigue musculaire.

Tel est le système en question.

Il me reste à indiquer la manœuvre qui permet à un homme, absolument seul, de descendre dans un puits, sans aucune aide à attendre du dehors ni du fond. Il commence pour cela par tirer à lui la corde de sûreté. Il l'agrafe, ainsi que le câble porteur, au sac S. Puis il descend ce dernier, en résistant à la manivelle, mais avec moins de précaution naturellement que s'il s'agissait d'un homme (*). Quand le sac est au fond, le mineur détache du montant du treuil l'extrémité supérieure de la corde de sûreté, et l'agrafe au nœud du câble porteur. A ce moment, les choses se retrouvent dans des conditions identiques à celles qui, tout à l'heure, avaient été préparées par le moulineur A, opérant au fond après sa descente, pour préparer celle de D (*fig.* 6). Dès lors, le mineur isolé va descendre comme le faisait l'ouvrier D; après quoi il remontera ultérieurement par le procédé que nous avons également fait connaître.

(*) Si du reste ce sac était trop lourd pour les forces de l'ouvrier, rien n'empêcherait celui-ci de descendre d'abord un seau d'un poids égal à $\frac{s}{2}$ environ, et ultérieurement le sac S qui, ainsi équilibré, n'exercerait plus lui-même que l'effort $\frac{s}{2}$, en remontant le seau que décrocherait le moulineur pour se substituer à lui.

NOTE
SUR LA GÉOLOGIE DU BASSIN HOUILLER
DE NEWCASTLE

Par M. A. SOUBEIRAN, ingénieur des mines.

INTRODUCTION. — Dans un voyage de mission en Angleterre, j'ai visité assez longuement le bassin houiller des comtés de Durham et de Northumberland, plus connu en France sous le nom de bassin de Newcastle. Je veux ici en esquisser à grands traits la constitution géologique, ou plutôt résumer les connaissances acquises jusqu'à ce jour sur cette question. Aussi, tout en m'aidant des quelques renseignements que j'ai recueillis par moi-même, j'ai puisé largement dans les ouvrages qui traitent ce sujet. Ce sont les livres de MM. Hull (*), Lebour (**); les comptes rendus de la Société des Ingénieurs des Mines du nord de l'Angleterre (***), les cartes géologiques de MM. Ramsay, Simpson, du *Geological Survey*, etc. Je ne crois pas qu'il existe, jusqu'à présent du moins, de description complète du bassin; et pourtant son étude est intéressante à plus d'un titre.

Au point de vue géologique, son système carbonifère présente un passage caractéristique entre le *facies* des bassins houillers anglais situés plus au sud et celui des

(*) E. Hull : *The Coalfields of the Great-Britain.*
(**) Lebour : *Outlines of the Geology of Northumberland*, avec carte géologique.
(***) *Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers.*

bassins d'Écosse. La formation carbonifère s'étend en effet d'une façon continue, mais, avec des allures bien différentes depuis Derby et Nottingham jusqu'aux environs d'Edimbourg. Dans le Derbyshire elle rappelle bien nettement la formation typique du sud du pays de Galles. Là, au-dessous du terrain houiller proprement dit, se rencontre le Farewell Rock, puis une masse de calcaire compact dont l'épaisseur dépasse souvent plusieurs centaines de mètres. En Écosse, au contraire, au-dessous du Millstone Grit, l'équivalent du Farewell Rock, on trouve des schistes et des grès avec lits de charbon intercalés; et souvent cet horizon présente les meilleures couches de houille du bassin.

Dans le Northumberland, on rencontre une condition moyenne, un mélange de calcaire, de schistes, de grès, dont la puissance varie du sud au nord, montrant, d'une façon bien nette, comment se fait le passage du *facies* calcaire du Yorkshire au *facies* argileux d'Écosse.

Au point de vue industriel, le bassin de Newcastle est le premier de tous les bassins anglais, et par sa forte production, et par la qualité de ses charbons. En 1880, dans les comtés de Durham et de Northumberland, on a extrait 35.000.000 tonnes de houille, c'est-à-dire près du quart de la production totale du Royaume-Uni. Grâce à l'heureuse position du bassin sur les bords de la mer du Nord, on a exporté, la même année, de Newcastle et des ports voisins 7.500.000 tonnes de houille; et la France en a reçu une grosse part (*). Aussi depuis Dunkerque jusqu'à Nice, partout on voit arriver ces fameux charbons à vapeur et à gaz du nord de l'Angleterre; ils pénètrent même dans l'intérieur du pays et viennent jusque sur le marché de Paris lutter

(*) En 1880, la France a importé 3.775.000 tonnes de houilles anglaises, valant 60 millions de francs aux ports d'embarquement. Ces charbons ont été fournis presque complètement par le bassin de Newcastle, et par celui du sud du pays de Galles.

avec nos houilles des départements du Nord et du Pas-de-Calais.

Dans cette étude géologique j'emploierai souvent les dénominations anglaises; mais je chercherai autant que possible à n'user que des mots dont la signification est bien connue, tels que *Coal-measures*, *Millstone-Grit*, *Metalliferous Limestone*, etc.

Avant d'aborder réellement mon sujet, je tiens à remercier ici de leur bienveillance M. Imbert-Gourbeyre, consul de France, M. Bunning, secrétaire de la Société des ingénieurs des mines du nord de l'Angleterre, et M. Lebour, professeur de géologie au collége des sciences physiques de Newcastle. Ce dernier, avec une grande obligeance, a bien voulu m'aider de ses notes et de ses conseils dans mes recherches.

Allure générale. — La géologie des comtés de Durham et de Northumberland est fort simple dans ses traits principaux. Un voyageur qui part des côtes de la mer du Nord pour gagner le Cumberland, marchant ainsi dans une direction E. O., rencontre des couches de plus en plus anciennes; il foule tour à tour le terrain permien, les coal-measures, le calcaire carbonifère. En allant du sud au nord, on rencontre la même succession d'étages (voir la carte, *fig.* 1, Pl. VI). Si on part des rives de la Tees pour gagner la frontière d'Écosse, les *borders*, on laisse derrière soi les collines liasiques du Cleveland, et on foule tour à tour le nouveau grès rouge, le permien, le houiller et le calcaire carbonifère ou du moins son équivalent. Sur la frontière à Berwick, on peut toucher près de la côte un lambeau de terrain silurien, amené au jour par suite de failles et de dénudations. Plus à gauche, dans les monts Cheviots, se montre un massif granitique et porphyrique, autour duquel on peut reconnaître des lambeaux de terrains anciens, dévoniens ou siluriens.

On voit, d'après cette description, que les couches plongent toutes vers la mer du Nord, et qu'en direction elles sont orientées S. O., N. E.

La topographie du pays présente une allure analogue. A partir de la côte le terrain s'élève jusqu'à ce que les affleurements du terrain carbonifère inférieur viennent former les montagnes Pennines. Cette chaîne s'allonge du nord au sud, constituant l'ossature de l'Angleterre. Il faut y marquer le Cross-Fell, haut de près de 900 mètres. De ces hauts plateaux couverts de bruyères, les *Moorlands*, descendent dans une direction parallèle O. E. de nombreuses rivières, qui déchiquettent profondément le pays. Ce sont la Tweed qui forme la frontière d'Écosse, puis la rivière Coquet, la Wansbeck, la Blyth, la Tyne avec son affluent la Derwent, la Wear et la Tees; cette dernière sépare le comté de Durham de celui de York. Ces rivières sont en général profondément encaissées; et sur les flancs abrupts de leurs rives, se profilent des coupes qui mettent en évidence d'une façon bien nette le sous-sol de la contrée. A la surface du terrain se trouvent presque toujours des alluvions soit récentes, soit de la période glaciaire, d'une épaisseur de plusieurs mètres. Ces couches sont formées de graviers, de sables et d'argiles souvent tourbeuses.

Terrain permien. — Je ne m'occuperai point de ces dépôts d'âge tout à fait récent, et je ne commencerai cette étude géologique qu'à la hauteur de l'étage permien, qui se trouve en relations directes avec le terrain houiller; j'entends par là qu'il recouvre toute la portion S. E. des Coal-measures. Comme dans presque toute la Grande-Bretagne, il repose sur eux en discordance; le dépôt du terrain permien n'a commencé qu'après que les couches houillères avaient déjà été relevées vers le nord-ouest, et que le houiller supérieur avait été presque complètement arasé.

Ce mouvement de soulèvement au N. O. se continua pendant la période permienne; aussi ce terrain plonge-t-il au S.-E. sous le nouveau grès rouge. Il ne présente guère qu'une épaisseur d'environ 200 mètres; en voici les principales divisions, en allant de haut en bas :

1° Marnes supra-permiennes avec gypse;

2° Calcaire cristallin avec *Schizodus Schlotheimi* et *Mytilus septifer;*

3° Calcaire avec brèche, qu'on peut voir à Tynemouth, près de l'embouchure de la Tyne, reposant sur un calcaire fossilifère avec *Productus*, *Strophalosia*, *Athyris*, *Avicula* et de nombreux polypiers; mais généralement ces deux types de calcaire se remplacent l'un l'autre;

4° Calcaire compact avec les mêmes fossiles;

5° Marnes schisteuses de quelques pieds d'épaisseur, avec des lits très minces de calcaire; on y trouve des spécimens admirablement bien conservés de poissons (*Palæoniscus*, *Acrolepsis*, etc.);

6° Sables jaunes, avec sables rouges à la base (marnes gypseuses intercalées); on y trouve des débris végétaux : *Trigonocarpus*, *Sigillaria reniformis*, *Calamites approximatus*, etc.

On voit que l'étage permien se compose surtout d'un calcaire qui mesure environ 150 mètres d'épaisseur. Les Anglais lui ont donné le nom de *Magnesian limestone*, à cause de sa teneur en magnésie qui est généralement forte, ainsi qu'on peut en juger d'après l'analyse suivante:

Carbonate de magnésie	35,33
Carbonate de chaux	57,50
Silice	5,00
Alumine	1,00
Oxyde de fer	0,50
	99,33

A vrai dire cette teneur s'abaisse en divers points, et

pendant plusieurs années, on a exploité près de Ferry-Hill une carrière dans le Magnesian limestone, qui servait à l'alimentation en castine des hauts fourneaux voisins. La quantité de carbonate de magnésie variait entre 1 et 2 p. 100.

Quant aux couches calcaires du terrain carbonifère, elles ne présentent la magnésie qu'en quantités toujours très faibles. Il est pourtant quelques exceptions à cette règle; on peut citer le top-bed exploité à la carrière de Holy-Island, qui contient plus de 30 p. 100 de carbonate de magnésie.

Les sables jaunes qui forment le sous-étage inférieur, au plus d'une trentaine de mètres, présentent des caractères assez particuliers. Ils forment un grès rugueux, très âpre, fait de grains de quartz parfaitement arrondis et cimentés par du carbonate de chaux. Mais ce grès est si friable qu'on peut à peine le toucher sans le briser, et il est fort difficile de rapporter des échantillons entiers. Ce grès présente souvent de fausses stratifications; il est coupé parfois par des veinules de calcaire, qu'on y trouve aussi en amas plus ou moins cristallins.

Au-dessous d'eux viennent les sables rouges, qui contiennent des fragments d'argiles multicolores, et des plantes de l'étage houiller. Aussi avait-on proposé de les considérer comme appartenant à ce dernier terrain; on disait qu'ils rappelaient ces grès houillers qui rougissent par l'exposition à l'air, par suite de la suroxydation du fer qu'ils contiennent; on prétendait même qu'ils étaient en concordance avec la formation houillère. Ces couches de sables rouges varient beaucoup d'épaisseur d'un point à l'autre; et l'on pouvait se tromper sur leur stratification; mais depuis la discordance a été parfaitement reconnue, surtout vers le sud, où les couches houillères, et celles du Millstone-Grit viennent butter contre les couches permiennes sous un angle de près de 20 degrés.

En laissant de côté la portion du terrain permien que cachent les eaux de la mer du Nord, la surface occupée par ses affleurements présente à peu près la forme d'un triangle, dont l'un des sommets est à South-Shields, à l'embouchure de la Tyne. Un des côtés est formé par le rivage de la mer; l'autre qui part du même sommet de South-Shields est orienté à peu près N. E. S. O. Tout le long de cette ligne le calcaire magnésien forme des escarpements d'où l'on domine les Coal-measures qui s'étendent vers l'intérieur des terres. Le calcaire est très fissuré, il est déchiqueté, et de plus, à sa base, sont les sables jaunes et rouges si perméables. Aussi la formation permienne est-elle très aquifère; et sa traversée dans le fonçage des puits présente souvent de grandes difficultés. C'est dans cette région que l'on a dû recourir parfois au procédé Kind-Chaudron, si rarement appliqué en Angleterre. Cette nappe aquifère alimente d'eau fraîche et fort agréable à boire les villes de la côte du Durham, parmi lesquelles on peut citer Sunderland.

Le permien a dû autrefois occuper au-dessus du houiller une surface bien plus grande; en effet au nord de la Tyne, on trouve trois lambeaux parfaitement caractérisés, et qui présentent la série des sous-étages depuis le calcaire à brèches, jusqu'aux sables jaunes et rouges; ils ont échappé à la dénudation, protégés par des plis du terrain et surtout par des failles qui les avait enfoncés. Ils sont rangés le long de la côte, et on peut les toucher à Tynemouth, à Cullercoats, et à Seaton Sluice près de Hartley.

D'après M. Hutton, il existerait un autre lambeau permien au nord de la grande faille « Ninety Fathom Dyke », qui émergerait au milieu des argiles d'alluvion près de Closing Hill, un peu au sud de Killingworth House.

Terrain houiller. — Le terrain houiller s'étend du nord au sud, depuis la rivière Coquet jusque près de Hartle-

pool, sur une longueur d'environ 80 kilomètres; il affecte la forme d'une cuvette un peu irrégulière; les limites en sont bien connues au nord et à l'ouest, marquées, comme elles le sont, par les affleurements du Millstone Grit. A l'est, le terrain houiller disparaît sous la mer du Nord; et longtemps on a cru qu'au sud-ouest, il était limité par les escarpements du calcaire magnésien, que l'on confondait alors avec le calcaire carbonifère. Il y a environ un demi-siècle, le docteur William Smith, s'appuyant sur des considérations théoriques, prouva par l'expérience à Haswell près de Durham l'existence des coal-measures au-dessous du permien. Depuis lors on les a recoupés à travers les terrains plus modernes par de nombreux puits, parmi lesquels on peut citer ceux de Seaham et de Ryhope. Mais le terrain houiller ne s'étend point indéfiniment sous les formations plus récentes; il ne va point rejoindre, comme on l'avait espéré, le bassin du Yorkshire. Il est prouvé que près de Hartlepool les couches s'élèvent vers le sud (*), et que, à peu de distance à l'est de Skildon, la couche Brockwell, qui se trouve à peu près à la base du terrain houiller, vient buter contre le calcaire magnésien; elle plonge au N. O. avec une inclinaison de 15 à 18 degrés.

On peut donc admettre comme certaine la limite sud du bassin telle qu'elle est tracée sur la carte ci-jointe (Pl. VI, *fig.* 2). Les coupes (Pl. VII, *fig.* 1 et 2) donnent aussi une idée assez nette de l'allure des couches houillères sous les roches permiennes.

Mais il est plus difficile de déterminer avec quelque certitude la grandeur et l'allure de la portion de terrain houiller, qui gît enfouie sous les eaux de la mer du Nord. Pourtant il est reconnu que c'est à Monkwearmouth, tout près de Sunderland, que se trouve le centre du bassin.

(*) Voir sur la carte géologique du bassin les flèches qui indiquent le plongement des couches (Pl. VI).

De l'ouest, du nord et du sud, c'est vers ce point que plongent les couches houillères, et cela d'une façon fort régulière, si l'on fait abstraction des failles et de leurs rejets. Il est démontré en outre que tout le long de la côte au nord de la Tyne, les couches qui descendent de l'intérieur du pays, en plongeant au S. E., s'infléchissent et se relèvent vers la mer. Ce fait paraît général et il permet de conclure à l'existence dans le bassin houiller d'un axe synclinal, passant par Monkwearmouth et orienté à peu près N. S. Si le bassin a, au delà de cet axe, une allure analogue à celle qu'il montre dans les comtés de Durham et de Northumberland, sous la mer du Nord serait enfouie à peu près la moitié de la richesse houillère du Nord de l'Angleterre.

La plus grande largeur du bassin, dans une direction E. O., je veux dire de la côte aux affleurements du Millstone grit, est environ 32 kilomètres; l'inclinaison générale est très faible, 1/40 à peu près; en effet on recoupe à Monkwearmouth, centre de dépression, la couche Hutton à 500 mètres de profondeur; elle affleure à près de 30 kilomètres dans l'intérieur des terres à Hownes-Gill, près du pic de Pontop, et à 200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette inclinaison de 1 à 2 degrés est très constante; de nombreuses failles rejettent les couches, mais parallèlement à elles-mêmes et ce n'est guère qu'aux approches de la grande faille connue sous le nom de *Ninety-Fathom-Dyke*, que les couches sont fortement inclinées.

Après avoir étudié rapidement la forme du bassin, il me reste à indiquer la succession des couches houillères et leurs alternances.

D'après ce que j'ai dit du terrain permien, on ne peut guère espérer trouver le houiller dans toute son intégrité; la partie supérieure a été dénudée, et il est impossible de dire sur quelle hauteur. Par ce fait même, il est difficile d'établir dans le bassin ces divisions que l'on a faites dans

presque tous les autres, en Coal-measures supérieurs, moyens et inférieurs. Aussi M. Lebour a-t-il proposé de ranger simplement sous le nom de Coal-measures tous les lits de houille connus, depuis les plus élevés jusqu'à et y compris la couche Brockwell; cela revient à dire que l'on rangerait sous le nom de Coal-measures toute la formation carbonifère qui comprend les meilleures couches de houille. Les strates situées en dessous, jusqu'au premier lit calcaire nettement accusé, formeraient l'étage du *Gannister* et du *Millstone grit*. Cette classification s'applique bien aux faits que l'on peut étudier dans le bassin houiller de Newcastle.

Au point de vue lithologique et dans l'ordre de prédominance, les Coal-measures du Northumberland sont formés de lits alternés de grès, de schistes, d'argile réfractaire et de charbon.

Schistes. — Les schistes des Coal-measures ne se distinguent guère au point de vue lithologique des autres schistes de la formation carbonifère, sauf peut-être qu'ils sont moins calcaires; ils contiennent rarement plus de 2 p. 100 de chaux; ils montrent tous les passages depuis les charbons impurs jusqu'aux grès par l'intermédiaire des schistes bitumineux ou schistes noirs, des schistes non bitumineux ou schistes bleus, des schistes gris, des schistes micacés et enfin dès schistes arenacés. Voici quelques analyses de schistes types :

	SCHISTES bitumineux. (1)	SCHISTES non bitumineux. (2)	SCHISTES gris. (3)
Silice	34,276	52,452	55,500
Alumine	19,347	23,270	27,753
Chaux	1,027	0,598	0,608
Magnésie	0,519	1,377	0,746
Potasse	0,893	2,089	1,819
Sels de soude	0,734	»	0,439
Peroxyde de fer	4,275	4,569	8,008
Protoxyde de fer	»	4,545	»
Eau	»	14,083	10,524
Hydrogène	7,630	»	»
Oxygène	9,090	»	»
Azote	0,934	»	»
Carbone	26,700	»	»
	99,525	100,030	99,370

L'échantillon n° 1 vient du toit de la couche de Low Main à la mine de West Hartley, l'échantillon n° 2 du charbonnage de Newsham près Blyth, et l'échantillon n° 3, qui se rapproche un peu des argiles réfractaires, de Cowen's Pit à Blaydon.

Dans le pays, on appelle les schistes *Plate* ou *Metal*, et on donne le nom de *Grey Beds* à ces alternances de schistes gréseux et de grès argileux, généralement micacés, que l'on trouve si fréquemment dans tout le carbonifère supérieur.

Beaucoup de ces argiles contiennent des nodules ou des lits continus de fer carbonaté; je reviendrai sur leur nature en étudiant les minéraux que l'on trouve dans le terrain houiller, en dehors de ses éléments principaux.

Au toit des couches de charbon les plus épaisses se trouvent en général des schistes noirs, et sur ce fait on a voulu fonder des théories sur la formation de la houille. Mais le fait n'est point constant, et il ne faut pas oublier que parfois au toit on rencontre immédiatement des grès et, dans le carbonifère inférieur, des couches de calcaire. Quand des schistes recouvrent les couches houillères, ils sont riches en restes de plantes fossiles. Les fougères, les calamites,

les lepidodendrons abondent avec d'autres plantes moins bien connues; les végétaux fossiles qui se trouvent au contact des couches principales ont été depuis longtemps réunis et classés; il en est une liste fort bien faite dans le volume XII des *Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers.*

On a reconnu aussi que quelques-uns de ces schistes contenaient des débris de poissons et de sauriens; ainsi ceux qui forment le toit de la couche *Low-Main* sont très riches en fossiles sur certains points, et ont permis de réunir une belle collection, que l'on peut voir à la Société d'histoire naturelle du Northumberland et du Durham. Selon toute apparence, ces poissons vivaient dans l'eau douce ou dans les lagunes, et ne présentent aucune condition de la vie marine.

Il faut aussi signaler des lits fort intéressants, connus sous le nom de *Mussel-Bands.* Ils ont au plus quelques pouces d'épaisseur, et sont formés presque entièrement de coquilles du genre *Anthracosia*, que l'on croit, sans en avoir pourtant une certitude absolue, être des coquilles d'eau douce. Un des horizons de ces *Mussel-Bands* se trouve à quelques pieds au-dessus de la couche *Low-Main;* une autre zone repose directement sur la couche *High-Main.* Au total, on compte dans le bassin au moins six lits d'Anthracosia. Dans le sud du Durham, à Ryhope, une des plus élevées de ces couches coquillières contient une forme marine, la *Lingula mytiloïdes;* on peut la considérer peut-être comme une coquille d'estuaire, mais dans aucun cas comme une coquille d'eau douce. Mais dans le Northumberland, on n'a jamais rencontré ce genre de coquille; et les premières espèces marines n'apparaissent qu'au-dessous de la couche *Brockwell*, dans les lits à Gannister. Aussi M. Lebour, comme je l'ai déjà dit, détache-t-il ces couches à Gannister des Coal-measures pour les réunir au *Millstone-Grit.*

Grès. — Les grès du terrain houiller sont à grains fins, d'une couleur jaune ou rouge; mais il est difficile de trouver quelque caractère qui les distingue nettement des autres lits sableux de la série carbonifère. On y trouve toujours du fer en quantités appréciables, à peu près 5 p. 100 en moyenne, sans que cette teneur dépasse jamais 10 p. 100. La couleur plus ou moins foncée de la roche n'est point en relations directes avec la richesse en fer; les grès gris en contiennent en général plus que les grès bruns; à vrai dire pourtant, les couches tirant sur le blanc sont toujours pauvres en fer. Les plus riches sont d'une façon générale les plus micacés. Selon MM. Clapham et Daglish (*Transactions*, vol. XIII), le caractère le plus remarquable des grès houillers serait leur teneur en fer, en chaux ou en magnésie. C'est à ces éléments qu'il faut attribuer leur délitement quand ils sont exposés à l'air; on a essayé plusieurs fois de faire avec ces grès des revêtements de puits; mais ils résistaient mal, surtout dans les puits de retour d'air, où circulent des gaz chauds et sulfureux. La ventilation dans les charbonnages du bassin de Newcastle se fait presque toujours par foyers placés au fond de la mine.

Voici quelques analyses de grès :

	PENSHER.			GRÈS micacé.
	Grès brun.	Grès blanc.	Grès gris.	
Silice	78,50	88,00	84,50	76,25
Alumine	16,00	10,00	5,50	8,12
Oxyde de fer	5,00	1,16	5,30	9,53
Carbonate de chaux	0,21	0,20	0,30	1,11
Carbonate de magnésie	0,30	0,20	»	0,32
Sels alcalins	traces	traces	»	3,40

Dans la plupart des couches gréseuses, il y a une tendance de la matière colorante à se réunir pour former des bandes concentriques de tons variés; ces derniers se modifient par une longue exposition à l'air, qui amène

souvent des exfoliations et un délitement presque complet.

Les grès sont peu continus, soit comme composition, soit comme épaisseur; il se produit des intercalations de couches schisteuses; et il est assez difficile de suivre un lit gréseux sur une grande longueur.

Il ne semble point qu'il y ait de changement notable en profondeur dans la nature de grès; tout au plus peut-on remarquer que dans la partie inférieure du terrain houiller les lits gréseux contiennent plus souvent des concrétions de quartz cristallisé.

On trouve dans les grès des troncs de sigillaires, de lepidodendrons et de calamites.

Argile réfractaire. — En général, formant le mur des couches de houille, se trouvent des bancs d'argile siliceuse, à laquelle on donne le nom de *Under-Clay*, de *Seggar-Clay* ou de *Thill;* certains ne sont point toujours en relations aussi directes avec les lits de charbon; lors de la formation houillère, ils formaient un sous-sol imperméable sur lequel se développait une luxuriante végétation; aussi on y rencontre de nombreux débris de racines fossiles, parmi lesquelles il faut citer les *Stigmaria.*

Quoique ces « Under-Clays » donnent toutes des produits réfractaires, ces derniers sont d'autant meilleur que l'argile est plus siliceuse et ne contient que peu d'impuretés, telles que le fer, la chaux, etc.

Je donne ci-contre l'analyse d'un échantillon très réfractaire, tirée du livre : *Industrial ressources of the Tyne, Wear and Tees.*

Silice	83,29
Alumine	8,10
Fer et chaux	2,43
Magnésie	2,99
Eau; matières organiques	3,64
	100,45

Houilles. — Les houilles du bassin de Newcastle, quoique de qualité variable avec chaque couche et d'un point à un autre, sont toujours bitumineuses, et fort bonnes par cela même pour les foyers domestiques, les chaudières à vapeur, la fabrication du coke, etc. On ne connaît dans toute la contrée qu'une seule couche de cannel coal, qui est fort mince et sans continuité. Les lits de charbon se présentent d'habitude avec une assez grande régularité d'allure; pourtant il en est plusieurs qui se divisent en passant d'un point à un autre; d'autres augmentent d'épaisseur; et telle couche qu'on ne pouvait exploiter au nord de la Tyne donne de fort beaux produits quelques milles plus au sud; aussi pendant longtemps on n'a pu établir le moindre parallélisme entre les couches recoupées en différents points du bassin; d'ailleurs elles sont fort nombreuses, puisqu'on en compte plus de vingt, qu'on peut exploiter avec avantage. De plus, comme les Coal-measures ont été arasées dans leur partie supérieure, on manquait de repère pour classer les couches dans l'ordre descendant. Aussi voit-on une même couche, aujourd'hui bien reconnue, changer de nom d'un district à l'autre, et le même nom s'appliquer à plusieurs couches placées à des hauteurs différentes dans la série des Coal-measures. Pourtant, en dépit des failles nombreuses qui sillonnent le bassin, en dépit des couches qui se divisent ou qui augmentent d'épaisseur vers leurs affleurements, devenant cendreuses, et même parfois présentant des intercalations de plusieurs pieds de schistes ou de grès, en dépit des toits, qui sont loin d'être constants dans leur nature minéralogique, vers 1830, dans une communication faite à la Société d'histoire naturelle de Newcastle, M. Buddle proposa un tableau synoptique de toutes les couches du bassin; il indiquait d'une façon si nette les traits principaux qui permettent de les repérer dans toute l'étendue des Coal-measures que depuis lors son tableau a fait loi; on n'a eu qu'à y changer quelques détails.

Je veux donner ici la liste des couches principales telles qu'elles se trouvent à Newcastle même. Comme la partie inférieure du terrain houiller n'a pas encore été recoupée en dessous de cette ville, la liste a été complétée d'après les travaux faits plus à l'ouest, c'est-à-dire plus près des affleurements.

La voici, telle qu'elle est établie par M. Lebour dans ses *Outlines of the geology of Northumberland*. Les couches sont numérotées dans l'ordre ascendant, mais décrites dans l'ordre inverse (voir la coupe, *fig.* 3, Pl. VI).

21) *Closing Hill Seam* ou couche *Closing Hill*. Elle a été décrite par M. Hutton comme affleurant au nord de la grande faille *Ninety-Fathom Dyke*, dans une carrière ouverte à environ 1 kilomètre de Killingworth House. Cette couche est la plus élevée que l'on ait reconnu dans le Northumberland; elle se trouve à peu près à 140 mètres au-dessus du lit de houille immédiatement inférieur. D'après sa position, son étendue était très limitée; elle ne pouvait exister que dans le voisinage même de la faille, qui, par suite du rejet, l'avait protégée contre les arasements ultérieurs; elle était, du reste, de peu d'importance, n'ayant que $0^m,50$ d'épaisseur.

Strates. Environ 140 mètres.

20) *Hebburn Fell* ou *Monkton Seam;* elle mesure $0^m,70$ d'épaisseur, et ne s'étend que sur une faible partie du pays; elle est de qualité inférieure.

Strates. Environ 65 mètres.

19) *Five Quarter Seam*. Environ $1^m,20$ d'épaisseur; bien connue dans le Durham, mais douteuse dans le Northumberland. C'est probablement la couche épaisse la plus élevée que recoupent les sondages de North Seaton.

Strates. Environ 58 mètres.

18) *Three-Quarter* ou Blacklose, ou Moorland, ou seventy-fathom coal. Environ $0^m,60$ d'épaisseur, souvent moins.

Strates. Épaisseur très variable de 15 à 60 mètres.

17) ***High Main*** on Main ou Seven Quarter ou Glèbe coal. A peu près 1^m^,80 d'épaisseur. On choisit souvent cette couche comme limite entre les étages supérieurs et moyens du terrain houiller. Ce choix tient à ce que la couche High Main sert de limite supérieure à une série de grès puissants et assez constants, parmi lesquels il faut citer les *Grindstones*, sur lesquels repose la ville de Newcastle et le *Seventy-Fathom post.* Cette couche High Main est une des meillèures du bassin, sur les bords de la Tyne; elle fournit ce charbon pour foyers domestiques, si connu à Londres sous le nom de *Wallsend;* mais elle est à peu près complètement épuisée.

Strates d'épaisseur très variable; rarement plus de 70 mètres.

16) *Metal coal.* }
Strates, 10 mètres. } *Grey Seam.*
15) *Stone coal.* }

Ces deux couches sont séparées sur la Tyne; elles continuent ainsi vers le nord-est; mais au nord-ouest de Newcastle, elles se réunissent pour former la couche *Grey Seam*, qui atteint une épaisseur de $2^m,40$ à Cramlington. Les couches *Metal* et *Stone Coal* s'unissent aussi dans le Durham, où elles forment la couche *Five Quarter Seam.*

Strates. Épaisseur variable de 20 à 30 mètres.

14) *Yard Coal.* Son épaisseur varie de $0^m,80$ à $1^m,20$. Au-dessus de cette couche se trouve un lit argileux, avec restes de poissons.

Strates. 20 à 30 mètres d'épaisseur.

13) *Bensham Seam.* De $0^m,70$ à $1^m,50$ d'épaisseur; elle est connue dans le Durham sous le nom de couche *Maudlin.*

Strates. Environ 20 mètres d'épaisseur avec grès à la base.

12) *Six Quarter Seam.* }
Strates, 8 mètres. } *Five Quarter Seam.*
11) *Five Quarter Seam.* }

Ces couches sont quelquefois connues sous le nom de *Tyne Six Quarter* et *Tyne Five Quarter Seams*. Elles sont distinctes dans la partie est du bassin; mais elles se réunissent au nord-ouest de Newcastle. La couche Five Quarter est connue sous le nom de Low-Main à Monkwearmouth, près de Sunderland.

Strates. Environ 20 mètres d'épaisseur.

10) *Low Main* de la Tyne ou *Hutton Seam;* son épaisseur varie de $0^m,60$ à $1^m,80$. Elle porte le nom de Hutton Seam dans le Durham. Cette couche est continue dans toute l'étendue du bassin, depuis Warkworth au nord jusqu'à Haswell et Hetton au sud; elle fournit toujours des charbons excellents : au nord, elle donne les meilleurs charbons à vapeur; dans le Durham, sous le permien, des houilles excellentes pour usage domestique, et plus à l'ouest, des charbons à gaz.

Strates. Leur épaisseur varie de 10 à 30 mètres.

9) *Plessey* ou *Crow Coal*, ou *Ryton Ruler Seam*. Cette couche est variable; elle se montre pourtant bien développée dans le district de Morpeth, où elle est connue sous le nom de Plessey Coal; son équivalence avec le Ryton Ruler Coal du district de Blaydon est un peu douteuse.

Strates. Épaisseur variable de 25 à 70 mètres.

8) *Beaumont* ou *Towneley*, ou *Harvey Seam*. Son épaisseur est d'environ 1 mètre; on l'appelle Beaumont dans le district de Morpeth et Harvey dans le Durham.

Strates. Environ 6 mètres.

7) *Hodge Seam*. Son épaisseur est de $0^m,70$. Mal connue, sauf dans le district de Townley.

Strates. 6 mètres et plus.

6) *Tilly Seam*. Son épaisseur varie aux environs de 1 mètre.

5) *Hand Seam*. Couche de faible épaisseur, très voisine du *Tilly Seam*, mais bien caractérisée sur certains points.

Strates. 9 à 12 mètres.

4) ***Stone Coal.***	
Strates, 7 mètres.	***Busty Bank Seam.***
3) ***Five Quarter Coal.***	

Ces couches ne se rencontrent que rarement séparées; elles sont bien connues près de la rivière Derwent, sous le nom de Busty Bank Seam.

Strates. De 10 à 15 mètres.

2) ***Three Quarter Coal*** ou ***Yard Coal.*** Son épaisseur est de 1 mètre environ.

Strates. Environ 15 mètres d'épaisseur moyenne.

1) ***Brockwell*** ou ***Splint Coal***, ou ***Main Seam.*** Son épaisseur varie de $0^m,30$ à $1^m,20$; nous la considérons comme la base des Coal-measures; le *Geological Survey* la considère comme séparant le houiller moyen du houiller inférieur; ce dernier comprend les lits à Gannister, que M. Lebour fait rentrer dans le Millstone Grit. La couche Brockwell paraît s'étendre d'une façon constante dans tout le bassin de Newcastle; mais cette continuité tient peut-être à ce que l'on donne toujours le nom de Brockwell à la couche de charbon la plus basse reconnue exploitable.

Outre les vingt et une couches que je viens d'énumérer, il en existe beaucoup d'autres qui sont ou trop minces ou trop cendreuses pour être travaillées avec profit; pourtant elles sont parfois exploitées en certains points où elles se présentent dans des conditions plus favorables. On en compte environ une soixantaine.

La liste que je viens de citer a été établie surtout en vue des districts des bords de la Tyne. Aussi je crois devoir y joindre une section (*fig.* 3, Pl. VI) que j'emprunte à une carte géologique(*) de M. Simpson, un des meilleurs ingénieurs du bassin; elle donne une idée exacte de la succession des couches, quoiqu'elle soit pourtant un peu idéale. Voici

---

(*) *Coal Seams of the Northumberland and Durham Coal-Field*, par John B. Simpson.

comment M. Simpson l'a établie. Toute la partie de la section depuis la couche *Hebburn Fell* jusqu'à la couche *Hutton* et un peu au delà, c'est-à-dire la partie principale, représente la suite des couches de combustible avec leurs intervalles de stérile, telle qu'on les recoupe à Monkwearmouth, centre du bassin. Les lits houillers situés au-dessus de la couche *Hebburn Fell* manquent en ce point, et M. Simpson les a empruntés au fonçage de Boldon situé plus au nord; il a fait de même pour la partie inférieure du terrain, qui n'a point encore été recoupée à Monkwearmouth, complétant sa série d'après les résultats de fonçages plus à l'ouest.

Depuis deux années, le « North of England Institute » a fait commencer la publication d'un relevé alphabétique de tous les forages et fonçages exécutés dans le bassin. Cet ouvrage est intitulé *An account of the strata of Northumberland and Durham as proved by borings and sinkings.* Mais les deux volumes parus jusqu'à ce jour ne vont que jusqu'à la lettre E. Quand sera terminé ce long travail, il sera alors relativement facile d'établir d'une façon nette la nomenclature des couches, et leur équivalence d'un district à l'autre; en un mot on pourra suivre une couche dans tout le bassin quels que soient ses changements de nom et d'allure.

Pour le moment, on compte environ 10 couches de combustible exploitables, c'est-à-dire de 1 mètre d'épaisseur et plus, interstratifiées dans un terrain houiller de 500 à 600 mètres d'épaisseur. Le rapport du charbon au stérile est d'environ 1/30, se rapprochant beaucoup de celui qu'on trouve dans le bassin de Mons et de Valenciennes; mais il faut remarquer que là les couches sont beaucoup plus nombreuses, et par cela même plus minces.

Comme je l'ai déjà dit, à une exception près et de peu d'importance, les charbons du bassin de Newcastle sont des houilles grasses à longue flamme; ils se rapprochent

beaucoup des flénus de Mons. Au point de vue économique, ou mieux au point de vue de leur emploi, ils se divisent en quatre groupes principaux :

1° Charbons pour foyers domestiques (*Household Coal*) ;
2° Charbon à gaz (*Gaz Coal*) ;
3° Charbon pour coke (*Coking Coal*) ;
4° Charbon à vapeur (*Steam Coal*).

Quelquefois on distingue aussi des charbons pour manufacture; mais il vaut mieux les ranger dans le 4° groupe.

Si l'on étudie ces diverses variétés, on ne trouve que des différences assez faibles dans les proportions des éléments simples : carbone, oxygène, azote, etc. Les conditions déterminantes sont plutôt des conditions physiques, telles que la consistance du charbon, sa dureté, la fusibilité de ses cendres.

Voici du reste les analyses de 3 échantillons de la couche Hutton, qui donne les meilleures espèces de charbon en tous genres :

1° *Household Coal*, venant des charbonnages d'Hanswell;
2° *Steam Coal* venant des charbonnages de Cowpen;
3° *Coking Coal*, venant de Tanfield.

	(1)	(2)	(3)
Densité	1,28	1,26	1,26
Cendres	0,20	2,30	2,10
Carbone	83,47	82,20	85,58
Hydrogène	6,68	5,10	5,31
Azote	1,42	1,69	1,26
Oxygène	8,17	7,97	4,39
Soufre	0,60	0,71	1,32

Le *Household Coal* est dur à casser, et en brûlant il laisse fort peu de cendres, d'une couleur foncée.

Le *Gaz Coal* donne à la distillation une grande quantité de gaz, et doit être exempt d'impuretés telles que le soufre, etc. Ce charbon est très friable, ce qui empêche son emploi sur les grilles; on l'utilise souvent pour faire du

coke, qu'il donne de bonne qualité, si l'on a eu soin de le broyer avant de le charger dans les fours.

Le *Coking Coal* se rapproche beaucoup du charbon à gaz; comme lui, il ne doit point contenir une forte proportion de soufre, il doit avoir une faible teneur en cendres; car cette dernière double presque dans la cuisson pour coke, qu'on fait encore dans tout le pays avec les fours à boulanger, qui ne rendent guère que 60 p. 100.

Le *Steam Coal* est très dur; il brûle en laissant des cendres blanches sans mâchefer; il ne doit pas être trop collant.

D'une façon générale, on peut dire que les houilles, qui sont grasses et tendres au sud dans le Durham, deviennent moins friables, moins collantes vers le nord. On peut aussi remarquer une variation suivant la hauteur qu'occupe la couche dans la série houillère; les couches les plus basses sont les meilleures pour la fabrication du coke. Par suite de ces deux ordres de faits, on a à peu près la répartition suivante dans le bassin.

Le district situé au nord du *Ninety Fathom Dyke* fournit les meilleurs charbons à vapeur, connus sous le nom d'un des principaux charbonnages de la région *Hartley*.

Sur les bords de la Tyne, la couche High Main a fourni pendant longtemps les meilleurs charbons pour foyer domestique; ils étaient réputés à juste titre sur le marché de Londres sous le nom de Walls'end. Ce nom est celui d'une des houillères qui ont exploité le High Main; malheureusement cette couche est à peu près épuisée; et l'on vend maintenant sous le nom de Walls'end des charbons du district de la Wear, fournis par la couche Hutton, et plus au sud, des charbons des couches *Five Quarter* (l'équivalent de la couche *Grey Seam*) et *Yard Coal*.

Ce sont ces deux sortes de houilles, *Steam* et *Household coal*, qui se vendent le plus cher. Leur prix dépasse de 4 et 5 francs celui des charbons à gaz et à coke.

Ces derniers se trouvent surtout dans l'ouest du Durham.

Sur la rivière Derwent, la couche Hutton donne de fort bonnes houilles pour usine à gaz; le district pour coke s'étend jusqu'à l'extrémité sud-ouest du bassin; il faut citer dans l'ordre descendant les couches *Beaumont* ou *Harvey*, *Busty Bank* et *Brokwell* qui y affleurent et dont le coke est recherché pour les hauts fourneaux.

Minéraux (*). — Avant de terminer l'étude de la nature des Coal-measures, je décrirai rapidement les minéraux qu'on y rencontre : quelques-uns se sont trouvés parfois en quantités assez importantes pour permettre une exploitation suivie.

1° *Carbonate de fer*. On l'a recherché avec beaucoup de soin ; pendant longtemps on espérait découvrir des minerais analogues aux blackbands du bassin voisin d'Écosse; mais les quelques couches qui ont été reconnues étaient toujours de faible épaisseur, et la continuité leur manquait; cependant on créa sur le bassin houiller des hauts fourneaux pour les fondre; mais ces usines durent éteindre leurs feux ou recourir à des approvisionnements de minerais étrangers aux Coal-measures. Maintenant que l'on a découvert la belle couche liasique du Cleveland, on a complètement renoncé aux minerais houillers; ces derniers coûtaient, somme toute, fort cher, par suite de leur faible teneur en fer (25 p. 100 en moyenne, elle tombait souvent à 22 p. 100); aussi dans le prix de revient de la tonne de fonte, le minerai comptait-il pour 50 francs et même parfois pour 70 francs. Ce dernier chiffre est plus élevé que le prix de vente actuelle de la fonte du Cleveland.

Le carbonate de fer est souvent intimement mélangé aux couches coquillières, les *Mussel Bands*, qui ont été

(*) Note de MM. Clapham et Daglish : *Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers*, vol. XIII.

décrites avec les schistes houillers. Voici une analyse d'un échantillon de teneur moyenne :

	PARTIE SOLUBLE dans l'acide.	INSOLUBLE.
Silice	trace	31,068
Alumine	1,194	16,292
Chaux	4,084	0,988
Magnésie	1.078	0,288
Potasse	1,319	»
Protoxyde de fer	18,637	»
Eau	11,221	»
Acide carbonique	14,057	»
	51,590	48,636

La teneur en fer s'élève parfois; on a exploité sur la Wear, à 0m,50 au-dessus de la couche High Main, une couche continue de minerai carbonaté; elle a été travaillée à Waldridge pour les White hill Iron Works, et ensuite à Urpeth pour les hauts fourneaux de Birtley. On connaît aussi une couche à teneur en fer métallique de 25 p. 100, qui se trouve au toit du Hutton Seam. D'après M. Lowthian Bell, on peut encore citer des exploitations qui ont lieu à Wylam, à Shotley-Bridge.

2° Les *pyrites de fer*, que l'on appelle dans le pays *Brass*, on les rencontre à peu près dans tout le terrain houiller et quelquefois en quantités abondantes. Ainsi la couche *Brass-Thill*, exploitée sur la Derwent, doit son nom à la forte teneur en pyrite de son toit. Dans ces exploitations houillères on sépare parfois une certaine quantité de pyrites que l'on vend aux fabricants de sulfate de fer et d'acide sulfurique. Mais comme elles retiennent toujours une forte teneur de carbone, il se produit beaucoup d'acide carbonique, qui nuit à la netteté des réactions dans les chambres de plomb. Cependant, d'après la statistique minérale de M. R. Hunt pour l'année 1879, le Durham et le Northumberland auraient ainsi produit 1.000 tonnes de pyrites.

Analyse d'une pyrite triée des houillères de *Walker*.

Soufre	40,50
Fer	36,35
Charbon	17,90
Silice	1,55
Carbonate de chaux	4,00
	100,30

On trouve généralement la pyrite en veinules à travers le charbon, en rognons, et parfois en amas cristallisés. Quelquefois elle est intimement mélangée à toute la masse, dont elle amène une désagrégation rapide, par l'exposition à l'air.

3° Les *pyrites cuivreuses.* On ne les a jamais rencontrées qu'en faibles quantités. Voici l'analyse d'un échantillon provenant de la couche Hutton aux charbonnages de Seaton, près de Seaham.

Cuivre	33,20
Fer	28,20
Soufre	37,00
Charbon	1,60
	100,00

4° La *galène.* On l'a rencontrée aussi dans le Hutton Seam à la houillère de Seaton; le charbon n'est pas altéré au contact du minéral plombeux; ce sont donc probablement des produits d'incrustation laissés par des sources qui traversaient la masse charbonneuse. On trouve la galène sur un certain nombre de points. Il n'y a là rien d'étonnant quand on songe que le terrain carbonifère contient de nombreux filons de plomb, et qu'en plusieurs endroits le terrain permien est tacheté de mouches de galène.

Voici une analyse :

Plomb	52,48
Soufre	11,40
Fer	2,10
Charbon	34,02

5° Le *carbonate de chaux* se rencontre en veines ou en petites couches subordonnées.

6° Le *sulfate de baryte* a été trouvé en une masse assez puissante à Felling près de Newcastle.

7° L'*hatchettine*, qu'on appelle souvent graisse minérale a été rencontrée sur différents points.

8° *Coprolithes.* On les rencontre dans les schistes bitumineux qui recouvrent la couche *Low Main*, à Newsham, près Blyth. Ce lit est très riche en restes fossiles de poissons et de sauriens.

(30 p. 100 de phosphate de chaux.)

On a trouvé un peu d'arsenic dans certaines pyrites des couches houillères.

Je ne m'occuperai point des minéraux qui se forment sous nos yeux par suite de l'oxydation des pyrites ; il se produit du sulfate de fer et de l'acide sulfurique qui dissout l'alumine des schistes. Ces réactions n'ont guère d'intérêt qu'au point de vue des exploitants ; les eaux de la mine sont toujours acides et rongent rapidement les tuyaux des pompes d'épuisement, lorsqu'ils sont en fonte.

Failles. — Dans les pages précédentes, j'ai décrit l'allure générale des couches de houille qui affectent grossièrement la forme d'un fond de bateau, avec Monkwearmouth comme centre de dépression. Mais cette régularité ne se poursuit pas dans les détails de la structure du bassin ; il est en effet sillonné par un grand nombre de failles ; la plupart sont de peu d'importance (*), produisant des rejets au plus de 100 mètres ; elles ne plissent ni ne redressent les couches dans leur voisinage ; les lits houillers se sont abaissés ou élevés parallèlement à eux-mêmes. Il faut signaler la faille *Ninety Fathom Dyke*, qui part de la côte près de Cullercoats, passe un peu au nord de Newcastle,

(*) Voir la section N. S. et la carte géologique du bassin (Pl. VI et VII).

traverse la Tyne et meurt près de la Derwent à l'extrémité ouest des Coal-measures. A la hauteur de Newcastle, entre Killingworth et Gosforth, elle rejette en profondeur de près de 600 mètres les couches situées au nord. Ces dernières prennent une inclinaison assez forte à son contact. (Voir la section N. S.). On a cru pendant longtemps que cette faille se prolongeait beaucoup plus loin à travers tout le terrain carbonifère, dans la direction de la vallée de la Tyne. Mais ce prétendu prolongement est une faille indépendante qui porte le nom de faille de Stublick; elle est dirigée E. O., elle a abaissé les couches situées au nord, et par le fait même protégé contre des arasements ultérieurs les trois petits bassins en forme de demi-ellipse connus sous le nom de bassins de Plain-Meller (*); ils sont au milieu des hauts plateaux à bruyères du Northumberland, à quatre milles au S. E. de la ville de Haltwistle; ce sont de véritables Coal-measures avec les couches à gannister et le millstone-grit à la base. On y compte cinq couches de charbon, dont la plus basse « Cannel Seam » se trouve dans la série à Gannister. Le plongement général de ces strates houillères est vers le sud, sous un angle assez faible; de l'autre côté de la faille, et à leur hauteur, sont les « Yoredale Rocks » qui forment la partie supérieure du calcaire carbonifère.

Ces bassins de faible étendue et de fort peu d'importance, au point de vue industriel, sont probablement des lambeaux d'une longue bande houillère, qui se rattachait aux Coal-measures du Durham, et s'était déposée dans un plissement E.-O. des couches carbonifères inférieures; ce plissement était dû probablement au soulèvement des monts Cheviots.

Pour continuer l'étude des failles du bassin de New-

(*) Le nom de *Plain-Meller* leur vient du district où se trouve le plus considérable d'entre eux (*fig.* 1, Pl. VI).

castle, je signalerai encore, mais tout à fait au sud, la faille *Butter Knowles* qui a rejeté de plus de 200 mètres en profondeur les couches houillères situées au sud, et a aggrandi ainsi d'une façon assez notable la partie du bassin cachée sous les terrains récents.

Il est difficile de déterminer l'âge de ces cassures du terrain houiller; la plupart, surtout parmi celles qui sont orientées E. O., doivent être antipermiennes; on a reconnu en effet pour beaucoup d'entre elles qu'elles s'arrêtaient au contact du calcaire magnésien.

Wash. — A côté des failles se place un genre d'accidents curieux, connus sous le nom de ***Wash*** ou de ***Drift*** (*). Un des mieux étudiés et des plus nets est celui qui s'étend depuis la ville de Durham jusqu'à la Tyne dans une direction sensiblement N. S. Sur une largeur qui dépasse souvent 1 kilomètre, les Coal-measures ont été enlevés jusqu'à une profondeur de 50 mètres; on dirait le lit d'une vaste rivière aux bords abrupts. Ce vide a été rempli avec des matériaux empruntés aux rives elles-mêmes, ou venus de fort loin. On y trouve, surtout à la base, des morceaux de schistes houillers, des blocs de charbon, le tout empâté dans des argiles ou des graviers; on ne rencontre aucun fossile; on ne peut donc déterminer l'âge de ce remplissage. A la base, on trouve, à vrai dire, des détritus de l'époque houillère, mais ils ont été arrachés aux roches environnantes. Ce wash se continue encore au sud de la ville de Durham, mais en se bifurquant. Il a une pente d'environ 1/500 vers la vallée de la Tyne, où il débouche à 1 mille à l'ouest de Newcastle; en ce point on a tout lieu de croire, d'après des sondages exécutés pour la construction

(*) MM. N. Wood et Boyd les ont étudiés dans une communication intitulée : *Wash or Drift through a portion of the Coal-Field of Durham*, et insérée dans les *Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers*, vol. XIII.

de ponts, que le sous-sol de la Tyne présente aussi un wash; sur tout son parcours, le wash de Durham a enlevé les couches *Five-Quarter* et *Bensham*, et en certains points, la couche *Hutton*. Faut-il attribuer ces dénudations à des courants d'eau douce, ou à des masses glaciaires? Le problème est difficile à résoudre; pourtant il est probable que si la seconde hypothèse était vraie, on en aurait retrouvé quelques caractères. Certains auteurs objectent à vrai dire à la première la faible pente de ce cours d'eau prédiluvien; ce qui n'expliquerait point les violentes érosions qu'il a produites. Mais il faut remarquer que le sol a pu se soulever un peu au nord, qu'il y a eu de nouvelles cassures, etc. Un fait à noter est le suivant: le principal cours d'eau du comté de Durham, la Wear, suit ce wash à 50 mètres au-dessus de lui pendant plus de 15 kilomètres aux environs de la ville de Durham; mais arrivé à *Chester-le-Street*, il se retourne à angle droit, recoupe le calcaire magnésien, et va se jeter dans la mer du Nord à Sunderland. Peu au delà de Chester-le-Street, commence la Team, un affluent de la Tyne, qui court dans une direction N. S., suivant toujours la direction du wash, mais à un étage supérieur. Au point où il se jette dans la Tyne, le *Drift* se trouve à près de 60 mètres au-dessous du niveau de la mer.

On a reconnu d'autres accidents analogues, un entre autres, à l'est de Newcastle, sur la rive gauche de la Tyne.

Basaltes. — Enfin, on rencontre dans le terrain houiller un troisième genre d'accidents connus sous le nom de *Whin Dykes*. Ce sont des failles à peu près verticales, remplies de matières basaltiques d'une composition très uniforme au point de vue lithologique, à peu d'exceptions près. Le remplissage est un basalte à grains serrés, bleu foncé quand on vient de le briser, présentant une cassure conchoïdale, et tournant au brun et au rouge par l'exposition à l'air. Le

dyke qu'on peut voir à Tynemouth est plus blanc et plus cristallisé ; mais si l'on suit son prolongement vers l'intérieur du comté, il reprend l'aspect commun à tous les autres dykes. Ces variations ne sont donc dues qu'à des circonstances tout à fait locales. La largeur de ces failles est très variable ; elle est d'ordinaire de quelques mètres, mais peut dépasser 50 mètres sur certains points. Le basalte qui les remplit n'a que peu de tendance à faire intrusion dans les strates qui l'encaissent. Cependant on cite le *Acklington-Dyke*, qui s'étend en nappes des deux côtés de la cassure. Les dykes ont généralement exercé une action métamorphique sur les parois. Ainsi le *Cockfield* qui recoupe la partie sud du bassin dans une direction O. N. O., E. S. E., et se prolonge au milieu des terrains plus récents, le permien, le trias et le jurassique, pour aller se terminer près de Whitby sur la côte du Yorkshire, a exercé une action très nette sur les calcaires de la Grande Oolithe, qu'il recoupe au sommet des collines du Cleveland. De chaque côté les couches ont été métamorphisées à une distance de plus de 50 mètres. De même, quand le basalte recoupe des couches de houille, il modifie le charbon au contact ; il le cokifie, mais en même temps il le charge d'impuretés ; ce que montrent les analyses suivantes ; elles se rapportent à la couche *Hutton*, au puits de *Hanswell*, sur les bords de la Tyne. Le 1er échantillon a été pris dans la couche à l'état ordinaire, le 2e au contact du basalte, le 3e à 60 mètres du dyke.

	(1)	(2)	(3)
Carbone	84,284	80.255	89,916
Hydrogène	5,522	2,045	3,441
Azote	2,075	1.170	2,129
Oxygène	6,223	0,923	1,228
Soufre	1,181	1,646	1,267
Cendres	0,725	13,601	2,019

Si l'on calcule la composition de ces houilles, déduction

faite des cendres, on trouve des variations qui prouvent nettement la cuisson produite par le dyke.

	(1)	(2)	(3)
Carbone	84,890	92,888	91,768
Hydrogène	5,561	2,783	3,511
Azote	2,089	1,354	2,172
Oxygène	6,267	1,068	1,253
Soufre	1,189	1,905	1,293

Les dykes se prolongent en lignes droites, souvent sur de grandes longueurs; parfois ils dévient pour épouser des failles antérieures voisines de leur direction. En général il est difficile de suivre les affleurements d'un dyke pendant plusieurs kilomètres; tantôt on le voit à la surface, tantôt on ne le rencontre qu'en profondeur dans les travaux d'exploitation. Dans ce dernier cas, il n'a pas pu percer au jour. C'est ce qui a lieu pour le dyke d'Hebburn, qui passe un peu au nord de Newcastle. A *Seaton Sluice*, sur la falaise qui borde la côte, on voit comment finit le dyke en hauteur. Au niveau de la mer, il se divise en deux branches, qui s'amincissent vers le haut et se terminent franchement à une couche de grès que la venue basaltique n'a pu briser. Cet arrêt brusque se présente souvent quand un dyke arrive au contact du terrain permien; la poussée basaltique n'avait plus assez de force pour briser le calcaire magnésien.

Au point de vue de la direction, on peut classer les dykes en deux catégories : l'une dont l'orientation varie entre les lignes est-ouest et sud-est, nord-ouest; l'autre dont la direction est à peu près nord-est, sud-ouest.

A la première catégorie appartiennent le *Cockfield Dyke*, au sud; le dyke d'*Hebburn*, près de Newcastle; plusieurs autres, moins importants, que l'on peut voir marqués sur la carte du bassin, et enfin tout à fait au nord, près de la rivière Coquet, le dyke Acklington : ce dernier a une impor-

tance spéciale; il se prolonge à travers le calcaire carbonifère, coupe le massif éruptif des Monts-Cheviots et atteint enfin le sud de l'Écosse. Là, il se trouve en relations avec une série de dykes fort bien étudiés par le professeur Geikie. Ces derniers sont tertiaires et probablement miocènes.

La seconde catégorie comprend un certain nombre de dykes, qui affleurent surtout au milieu du calcaire carbonifère. Parmi eux le *Hett Dyke*, qui recoupe franchement le terrain houiller dans le sud du Durham, doit être signalé.

L'âge de ces basaltes a été fort discuté; pendant longtemps on a prétendu qu'ils étaient ante-permiens; on faisait remarquer que nombre d'entr'eux s'arrêtaient à la rencontre du calcaire magnésien, mais la raison n'est point concluante. On a trouvé des dykes qui ne traversent point complètement le terrain houiller et viennent se terminer contre une strate dure que la poussée basaltique n'a point eu la force de briser. D'autre part, on a reconnu que le *Cockfield Dyke* recoupait le jurassique par son prolongement à travers le Cleveland. A cause de l'uniformité au point de vue de la composition minéralogique et de l'allure générale, il est naturel de considérer tous les dykes comme du même âge; et puisqu'il est à peu près hors de doute que le *Acklington Dyke*, vu son prolongement en Écosse, appartient à l'époque miocène, nous admettrons qu'ils sont tous de cet âge. Cette opinion est aujourd'hui celle de presque tous les géologues qui ont étudié le bassin.

Millstone Grit. — Après avoir décrit avec quelques détails le terrain houiller proprement dit, je vais reprendre l'étude de la série carbonifère dans l'ordre descendant. Nous rencontrons tout d'abord la série à *gannister*, que le *Geological Survey* marque comme Coal-measures inférieurs, et que M. Lebour range dans le Millstone Grit. Les couches

à gannister ne présentent qu'une faible épaisseur, une cinquantaine de mètres en moyenne; on y retrouve, mais à un moindre degré que dans le Yorkshire les couches argileuses qui ont valu son nom à cet étage. On désigne sous le nom de gannister une sorte d'argile réfractaire très dure, à grains très fins, compacte et siliceuse, contenant en abondance des *Stigmaria*. Cette argile est très bonne comme matière réfractaire; et on l'emploie souvent pour le revêtement des convertisseurs Bessemer. On trouve en bordure, autour du bassin houiller de Newcastle, des couches qui répondent assez bien à cette description; de plus elles présentent, mais à vrai dire en peu de points, le fossile par excellence des couches à gannister l'*Aviculopecten papyraceus*. On y a reconnu deux ou trois couches de houille, mais toutes trop minces pour être exploitées. Somme toute, il existe bien dans le Durham et le Northumberland l'équivalent des couches à gannister du Yorkshire, mais elles sont de moindre épaisseur, formant une suite non discontinue avec le terrain houiller proprement dit; et sûrement elles n'auraient point un nom spécial si elles n'avaient été étudiées que dans le bassin de Newcastle.

Ces remarques sont également vraies pour le Millstone Grit; les grès qui le forment sont de peu d'épaisseur et perdent ce caractère rugueux qui est le caractère distinctif de cet étage; la plupart ressemblent au grès du houiller proprement dit. Dans la série s'intercalent des schistes plus ou moins sableux. L'épaisseur totale du Millstone Grit atteint 120 mètres en moyenne. Il faut signaler quelques lits de charbon très minces et quelques couches de calcaire impur; ces dernières annoncent la série schisto-gréseuse avec lits de calcaire assez puissants, qui se rencontrent dans le carbonifère inférieur.

Carbonifère inférieur. — Ce terrain présente une grande épaisseur; aussi a-t-on essayé de le diviser au moins en

deux étages. On a proposé, toujours par analogie avec les formations du Yorkshire, de grouper la partie supérieure sous le nom de *Yoredale Rocks* et la partie inférieure sous celui de *lower Carboniferous limestone.* Les Yoredale Rocks commencent vers le haut au premier lit net de calcaire que l'on rencontre en dessous du houiller, et que l'on nomme *Fell Top limestone;* ils descendent jusqu'à une nappe de basalte, connue sous le nom de Whin Sill, qui se trouve intercalée entre les couches carbonifères, et se montre d'une façon constante dans tout le Durham et le Northumberland. La délimitation ainsi faite paraît fort précise; mais il a été reconnu que le Whin Sill n'était que grossièrement interstratifié, oscillant autour du lit calcaire connu sous le nom de *Great limestone*, tantôt au-dessus, tantôt au-dessous. Il le recoupe nettement en certains points; et l'on peut voir en divers endroits qu'il pénètre dans des cassures perpendiculaires à la stratification des couches qui le recouvrent. Le Whin Sill ne donne, vu son caractère intrusif, qu'une indication approximative de la hauteur des couches que l'on étudie. Aux environs du Whin Sill se trouve bien le *Great limestone*, qui est un lit de près de 10 mètres d'épaisseur et que l'on rencontre d'une façon très constante; mais il n'est guère possible de le prendre comme ligne de démarcation; au-dessus comme au-dessous de lui, le terrain carbonifère présente le même aspect.

Certains géologues du nord de l'Angleterre ont introduit deux mots nouveaux : *Tuedian* et *Bernician* (deux appellations locales, dont l'une vient de la rivière Tweed, qui sépare l'Angleterre de l'Écosse). Les *Tuedian Series* seraient tout à fait à la base du terrain carbonifère; elles seraient l'équivalent du *Calciferous Sandstone* d'Écosse. Mais leur séparation avec les *Bernician Series* n'est point nette. Ces dernières s'étendraient jusqu'au Fell Top Limestone. En effet, les *Tuedian* désigneraient une formation gréseuse avec conglomérats arrachés aux couches inférieures; ils désigne-

raient pour ainsi dire une formation de rivages, tandis que les Bernician correspondraient plutôt aux couches qui se déposent au sein des mers profondes. Ces deux formations pourraient donc être contemporaines à certains égards et non point successives; aussi je me contenterai de décrire les principaux termes de la série depuis le Millstone Grit jusqu'au dévonien, en les rangeant sous le nom de carbonifère inférieur.

Le calcaire n'est point la roche dominante; on y compte environ douze couches de cette nature, et la plus puissante ne mesure que 10 mètres d'épaisseur; entre elles presque toujours se trouvent des alternances de schistes et de grès, mesurant souvent 100 mètres et plus. Il est fort délicat de suivre une couche calcaire dans toute l'étendue de la contrée. Ainsi sur les rives de la Tyne nous trouvons tout d'abord le Fell-Top Limestone, et à environ 100 mètres au-dessous, le Little Limestone; mais si on marche vers le N. E. l'épaisseur des bancs entre ces deux lits augmente et dépasse 300 mètres; en même temps apparaissent de nouvelles couches calcaires; de plus les grès passent facilement aux schistes, ou bien tendent à se diviser par suite d'intercalation de couches argileuses; il est donc bien difficile de se repérer. Je citerai seulement les noms de quatre couches calcaires que l'on a assez bien reconnues partout; ce sont dans l'ordre descendant : le *Fell-Top Limestone*, le *Little Limestone*, le *Great* ou *Ten Yards Limestone*, et le *Four Fathom Limestone.*

Un des caractères les plus remarquables du carbonifère inférieur est la présence de lits de charbon, qui souvent donnent des houilles de bonne qualité, et ces couches seraient exploitables avec bénéfice, si l'on n'était si près des Coal-measures de Newcastle. On les a du reste travaillées en divers points, entre autres aux environs de Berwick, dans le district de *Scremerston.* L'exploitation y est encore assez active.

Ces couches sont nombreuses, mais elles deviennent surtout exploitables au nord de la faille Stublick, que j'ai citée à propos des petits bassins de Plainmeller. Voici un essai d'équivalence des couches que j'emprunte à M. Lebour (*) :

DISTRICT SUD de la Tyne.	DISTRICT central.	DISTRICT du Nord.
Crow Coal.	Fell Top Coal.	
. . . .	Belsay Coal.	Nether Witton Coal.
. . . .	Oakwood Cool	
Little Limestone Coal	Little Limestone Coal.	Parrot, Rough, etc.
. . . .	Great Limestone Coal.	Dryburn Coal.
. . . .	Sillbottle Coal.	Acre Coal.
. . . .	. . . .	Beadnell Coals.
. . . .	Cowen Coal. . . . . . . Wark Coals. . . . . . . Redesdale Coal.	Oxford Limestone Coals.
Couche en dessous de la couche Mel Merby Scar Limestone (?).	Plashett's Coal (?). . .	4 couches.
Lowest Seam (?).	Lewis Burn Coal (?). .	Three Quarter Seam. Cooper Eye Coal. Wester Coal,

Ces couches dans l'étendue de la contrée se subdivisent ou se réunissent; et, comme on a peu de coupes et de sondages, il est difficile d'obtenir un tableau d'équivalence d'une exactitude suffisante.

Plusieurs d'entre elles sont immédiatement subordonnées à des lits calcaires, qui forment leur toit, et où l'on trouve des fossiles marins d'eau profonde.

Outre cette richesse houillère, le carbonifère inférieur présente de nombreux gîtes minéraux; il faut citer des filons de fer carbonaté, d'hématite brune. Cette dernière se trouve aussi en amas, et a fourni et fournit encore des minerais de qualité supérieure; mais ces gîtes d'hématite ne sont point à comparer avec ceux que l'on rencontre dans le carbonifère sur les côtes du Cumberland, près de Whitehaven et de Barrow in Furness.

On a trouvé aussi de nombreux filons de galène qui sont

(*) *Outlines of the geology of the Northumberland.*

l'objet d'une exploitation fort active dans les districts de *Weardale*, d'*Alston-Moor*, et près de *Haydon-Bridge*.

Le carbonifère inférieur peut donc ici, comme dans le reste de l'Angleterre, recevoir le nom de *metalliferous;* et certains auteurs n'ont pas craint de l'appeler *Lead-measures*, rappelant ainsi sa richesse en plomb. Ce sont donc là des étages importants au point de vue industriel, mais dont la valeur est en partie effacée par le voisinage des Coal-measures.

Je terminerai ici la description géologique du bassin de Newcastle; je ne veux point aborder l'étude du massif éruptif des monts Cheviots qui ne se rattachent pas d'une façon directe au terrain houiller; mais pourtant ce sont eux qui ont soulevé les couches au nord, et donné au terrain son *allure générale*.

EXPLOITATION. — D'après ce que nous avons vu, les Coal-measures présentent une série de couches peu inclinées (1 à 2 degrés), d'une bonne épaisseur ($1^m,50$ en moyenne) avec un toit solide et étanche. Par suite de ces circonstances naturelles, les ingénieurs du bassin de Newcastle ont adopté, comme méthode d'exploitation, celle par *piliers et galeries* ou par *piliers tournés*, que l'on désigne habituellement en Angleterre sous le nom générique de *board and pillar* ou de *pillar and stall*. Autrefois on ne donnait aux piliers que juste la largeur suffisante pour soutenir le toit; aussi il arrivait presque toujours que ce dernier écrasait ses supports trop minces, brisait le charbon en menus fragments, et lui ôtait toute valeur pour une reprise ultérieure. Maintenant dans le traçage on laisse des piliers assez forts pour bien soutenir le toit, sans qu'ils soient écrasés; on leur donne une forme presque carrée, mesurant d'ordinaire entre 20 et 30 mètres de côté. Quelquefois on exagère l'une des dimensions que l'on pousse jusqu'à 80 et 100 mètres. La mine présente ainsi une sorte

de quadrillage dessiné par des galeries de 3 à 4 mètres de largeur. Dans certains charbonnages, comme cela se faisait partout autrefois, on pousse ce traçage jusqu'aux limites du champ d'exploitation; puis on se rabat vers le puits en déhouillant les piliers. Aujourd'hui beaucoup d'ingénieurs les divisent en plusieurs quartiers ou *pannels*, séparés les uns des autres par de puissants massifs de charbon. Comme chaque quartier a son aréage particulier, on limite ainsi l'étendue d'un coup de grisou. D'autre part les piliers fatiguent moins longtemps, au grand avantage de la qualité du charbon. Car, comme on traite chaque quartier séparément, dès que le traçage en est achevé, on attaque les piliers. On arrive ainsi à enlever à peu près tout le charbon, tout en obtenant une forte proportion de *gros*. Le mineur, dans ces couches du bassin de Newcastle, peut abattre aisément 3 à 4 tonnes par poste; on peut donc en un point donné obtenir une grande production, suffisante pour alimenter un traînage mécanique, qu'il est facile d'installer dans des galeries horizontales, larges et qui tiennent sans boisage. Comme le faible pendage des couches permet d'exploiter aussi bien en aval qu'en amont, on amène sans peine 1 000 tonnes et plus par jour à la recette inférieure du puits. Aussi ne dessert-il en général qu'une seule couche.

L'écoulement de ces produits se fait avec une grande facilité; toutes les mines sont en relation directe avec le réseau de railways qui sillonnent le pays en tous sens; ces derniers les emmenant dans le Cleveland, et même jusqu'à Londres, ou bien aux ports de mer, qui sont nombreux et admirablement installés sur toute la côte du Durham et du Northumberland. Dans la mer du Nord débouchent une série de rivières aux bords abrupts, et que les Anglais, avec une habileté remarquable, ont su rendre accessibles aux navires du plus fort tonnage jusqu'à 10 et même 20 kilomètres de la côte. Ainsi il a été fait pour la Tyne, qui

depuis Newcastle jusqu'à South-Shields forme un long port, sur les bords duquel on a construit de nombreux engins pour l'embarquement des houilles. On peut aussi citer Sunderland sur la Wear, Seaham, Hartlepool, Blyth, etc.

Ressources du bassin. — Grâce à ces facilités d'exploitation, à cette heureuse situation près de la mer, la production houillère a dépassé depuis 1873 le chiffre de 30.000.000 tonnes par an, et, en 1880, elle a atteint 35.000.000. C'est là une extraction énorme; aussi certaines couches, le *High Main* par exemple, sont presque complètement épuisées. Il ne faut point oublier du reste que le bassin de Newcastle est connu depuis fort longtemps; les Romains l'auraient exploité, à en croire plusieurs archéologues anglais (*). En tout cas, dès le XIVe siècle, il commença à alimenter le marché de Londres; mais surtout depuis 30 ans sa production a crû d'une façon extraordinaire. Aussi s'est-on demandé avec terreur, dans ces dernières années, si le grand bassin du nord de l'Angleterre pourrait, longtemps encore suffire aux besoins toujours croissants, s'il n'était point proche le jour terrible où il faudrait faute de combustibles, éteindre ces immenses manufactures, ces gigantesques hauts fourneaux du Cleveland.

Dans le calcul des ressources que renferment les comtés du Durham et du Northumberland, il se présente une question fort controversée. La moitié du bassin est enfouie sous la mer. Quelle quantité de houille peut-on lui arracher? M. Greenwell, dans un discours d'ouverture fait au Congrès de la Société pour l'avancement des sciences, qui se tint à Newcastle, il y a quelques années, prétendait qu'on pouvait

(*) Horseley : *Britannia Romania.*
Wallis : *History of Northumberland.*
M. J. Taylor : *Proceedings of the archæol. Institute of Newcastle.*

exploiter sous la mer jusqu'à une distance de 12 kilomètres de la côte. Ce chiffre me paraît fort exagéré; quand on aurait déhouillé, et qu'on laisserait le toit s'ébouler sur des espaces aussi vastes, il se produirait des cassures par où la mer pénétrerait avec une violence inouïe. On se souvient encore de l'accident de Workington dans le Cumberland; là, on avait poussé trop hardiment les travaux sous la mer; le toit céda, tout fut inondé, et 37 ouvriers furent noyés.

Je crois donc qu'en comptant qu'on exploitera tout le long de la côte une bande large de 4 à 5 kilomètres, on se trouve beaucoup plus près de la vérité, et voici alors le calcul que l'on peut établir :

	KILOMÈTRES carrés.
Surface du terrain houiller qui affleure sous les couches d'alluvion	1.150
Surface cachée sous le permien	560
Surface exploitable sous la mer	270

Le nombre des couches exploitables est de 16, donnant une épaisseur totale de charbon (au bas mot) de 14 mètres.

On trouve ainsi que le bassin contient 7.450.000.000 tonnes de houille livrables au commerce. Si l'on néglige 450.000.000 tonnes pour tenir compte de ce qui a déjà été enlevé, il reste encore en chiffres ronds 7 milliards de tonnes de combustible de première qualité, et facilement exploitable, puisque les Coal-measures ne présentent qu'une épaisseur de 600 mètres environ.

D'après ce calcul, si la production continuait à augmenter comme elle l'a fait depuis un demi-siècle, en moins de deux cents ans, le bassin houiller serait épuisé; et les populeux comtés du Durham et du Northumberland ne seraient plus qu'un désert.

EXAMEN CRITIQUE DES HYPOTHÈSES
AUXQUELLES ON A RECOURS
POUR CALCULER LES EFFORTS
TRANSMIS
AUX PIÈCES DES SYSTÈMES DE BARRES
EMPLOYÉS DANS LES CONSTRUCTIONS

Par M. RÉSAL, ingénieur en chef des mines,
professeur à l'École nationale des mines.

Extrait du *Cours de construction de l'École nationale des mines.*

1. Les systèmes de cette nature se trouvent réalisés dans certaines catégories de combles et de ponts.

Pour fixer les idées, et pour nous placer en même temps à un point de vue quelque peu général, nous ne considérons, dans ce qui suit, que les combles à deux égouts, symétriques par rapport au plan vertical du faîte, nos raisonnements ultérieurs pouvant s'appliquer aux combles dissymétriques et aux ponts formés de pièces rectilignes.

Soient (A) le système total et (B) un système partiel de barres qui aboutissent à l'un au moins des arbalétriers.

On peut composer (B) de telle manière qu'il forme avec l'un et l'autre arbalétrier un système à liaisons complètes, et alors, en faisant abstraction des autres pièces, les règles ordinaires de la statique seraient suffisantes pour déterminer les efforts développés dans les pièces qui constituent

le système particulier dont il s'agit. En se plaçant à ce point de vue essentiellement théorique, les pièces étrangères à ce système ne joueraient qu'un rôle passif; mais il en est autrement dans la réalité et il faut admettre que toutes les pièces peuvent travailler simultanément.

On supplée alors à l'insuffisance de la statique, pour calculer les efforts transmis, en ayant recours à des hypothèses plus ou moins plausibles dont la principale consiste à considérer les tiges comme étant rigides dans le sens de leur longueur. On est ainsi conduit à créer des points fixes fictifs aux joints de certains assemblages. Mais comment doit-on choisir ces points fixes pour ne pas être conduit à des incompatibilités? Tel est le problème que nous nous sommes proposé, mais dont la solution ne paraît pas susceptible d'être résumée dans un énoncé général. Il n'y a qu'en traitant quelques cas particuliers que nous pourrons faire comprendre la marche que doivent suivre les ingénieurs chargés des constructions de la nature de celles dont il s'agit.

2. *Ferme complète.* — Soient (*fig.* 3, Pl. VII) :

A_0A_3, A'_0A_3, A_3, les deux arbalétriers et le faîte,
$A_0A'_0$, $A_1A'_1$, le tirant et l'entrait retroussé,
A_3DI_1, le poinçon assemblé au milieu I_1 de l'entrait,
A_2D, A'_2D, les contrefiches,
CC_1, $C'C'_1$, les aisseliers assemblés respectivement en C_1, C'_1 à A_0A_3, A'_0A_3 et en C_1, C'_1 à l'entrait,
BB_0, $B'B'_0$, les jambettes de A_0A_3, A'_0A_3 assemblés au tirant en B_0 et B'_0,
$i = A_3\widehat{A_0}A'_0$, $\lambda = A_0\widehat{B}B_0$, $\mu = A_1\widehat{C}C_1$, $\nu = A_1\widehat{C_1}C$, $\alpha = A_2\widehat{D}A_3$ des angles donnés,
p, p_0, p_1, les charges verticales censées uniformément réparties sur chacun des arbalétriers, le tirant et l'entrait,
φ, l'action longitudinale exercée par la jambette sur l'arbalétrier et le tirant,
ψ, l'action semblable exercée par l'aisselier sur l'arbalétrier et l'entrait.

On peut sans objection sérieuse admettre que l'arbalétrier A_0A_3, soumis à l'action de la charge normale $p \cos i$, se comporte comme s'il reposait sur quatre appuis en ligne droite A_0, A_1, A_2, A_3.

Mais il n'est pas permis de considérer comme fixes les assemblages de l'arbalétrier avec l'aisselier et la jambette, ce qui entraînerait également la fixité des assemblages correspondants de l'entrait et du tirant.

En effet, en assimilant B et C à deux appuis, leurs réactions normales, comme celles N_0, N_1, N_2, N_3 de A_0, A_1, A_2, A_3, seraient représentées par $p \cos i$ multiplié par des coefficients que l'on sait déterminer, et la réaction de C, par exemple, serait égale à $\psi \sin \mu$. Mais l'entrait deviendrait une pièce reposant sur les appuis A_1, C_1, I_1, C'_1, A'_1. La réaction de C_1, comme celles M_1 de A_1 et A'_1, $2n$ de I_1, serait égale à p_1 multiplié par un coefficient que l'on sait aussi calculer, mais cette réaction serait égale à $\psi \sin \nu$. On obtiendrait donc pour ψ deux valeurs distinctes, ce qui est absurde.

La même observation se rapporte à φ.

Nous sommes ainsi conduit à considérer l'arbalétrier A_0A_3 comme reposant uniquement sur les quatre appuis A_0, A_1, A_2, A_3 et soumis à l'action de la charge normale $p \cos i$ et des forces inconnues, également normales, $\varphi \sin \lambda$, $\psi \sin \mu$ agissant en B et C. Les réactions N_0, N_1, N_2, N_3 seront des fonctions linéaires de $p \cos i$, $\varphi \sin \lambda$, $\psi \sin \mu$, dont on sait calculer les coefficients. Il en sera de même des ordonnées Bb, Cc, des positions que prennent B et C après la flexion. Posons donc

$$(1) \qquad \begin{cases} Bb = bp \cos i + b'\varphi \sin \lambda + b'' \psi \sin \mu, \\ Cc = cp \cos i + c'\varphi \sin \lambda + c'' \psi \sin \mu. \end{cases}$$

Le tirant $A_1 A'_1$ repose sur les trois appuis A_1, I_1, A'_1, est soumis à l'action de la charge p_1 et à deux forces normales $\psi \sin \nu$ agissant en C_1, C'_1 ; les réactions M_1 de A_1, A'_1,

$2n$ de I_1 et l'ordonnée C_1c_1 de la position que prend le point C_1 après la déformation seront des fonctions linéaires de p_1 et $\psi \sin \nu$, dont on sait déterminer les coefficients.

Posons donc

$$C_1c_1 = \gamma p_1 + \gamma' \psi \sin \nu. \tag{2}$$

On obtiendrait de la même manière pour l'ordonnée en B_0 une expression de la forme

$$B_0b_0 = \beta p_0 + \beta' \varphi \sin (\lambda + i). \tag{3}$$

Or, A_0 et A_1 sont respectivement les centres instantanés de BB_0, CC_1 ; on a donc

$$\frac{B_0b_0}{A_0B_0} = \frac{Bb}{A_0B}, \quad \frac{C_1c_1}{A_1C_1} = \frac{Cc}{A_1C},$$

ou

$$(3) \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{\beta p_0 + \beta' \varphi \sin (\lambda + i)}{A_0B_0} &= \frac{bp \cos i + b' \varphi \sin \lambda + b'' \psi \sin \mu}{A_0B}, \\ \frac{\gamma p_1 + \gamma' \psi \sin \nu}{A_1C} &= \frac{cp \cos i + c' \varphi \sin \lambda + c'' \psi \sin \mu}{A_1C}, \end{aligned} \right.$$

Nous avons donc deux équations qui nous permettront de déterminer φ et ψ, dont les expressions seront des fonctions linéaires de p, p_0, p_1. Les réactions N_0, N_1, N_1, N_1, M_1, $2n$ peuvent donc dès à présent être considérées comme étant déterminées en fonction de ces trois quantités, également sous la forme linéaire.

Le calcul se terminera comme dans le cas que l'on considère habituellement et où l'on fait abstraction des aisseliers et des jambettes. Toutefois, pour ne pas laisser de lacunes, nous allons rappeler sommairement la méthode suivie.

Soient

θ, l'effort longitudinal exercé par les contrefiches sur les arbalétriers,

T, la poussée au faîte,

$2n'$, l'action du poinçon sur l'assemblage D,

τ_0, τ_1, les actions longitudinales exercées par le tirant et l'entrait sur chacun des arbalétriers,

S, la réaction verticale des appuis A_0. A'_0, qui est égale à la moitié de la charge totale du comble due à p et à p_1 et qui est ainsi déterminée.

Le point D se trouvant en équilibre sous l'action de $2n$, $2n'$ et des deux forces — θ, nous avons

$$(a) \qquad \theta \cos \alpha = n - n'.$$

Il nous reste maintenant à exprimer que les réactions N_0, N_1, N_2, N_3 sont égales aux composantes suivant leurs directions des efforts exercés aux points correspondants, et l'on a ainsi

$$(b) \qquad \begin{cases} N_0 = S \cos i + \tau_0 \sin i, \\ N_1 = M_1 \cos i + \tau_1 \sin i, \\ N_2 = \theta \cos (i - \alpha), \\ N_3 = T \cos i + n' \sin i. \end{cases}$$

Les réactions N_0, N_1, N_2, N_3, M_1, n étant censées déterminer en fonction de p, p_0, p_1, les équations (a) et (b) feront connaître la valeur de θ, n', τ_0, τ_1 et T.

3. Le calcul des réactions Ni est peu attrayant; on peut cependant simplifier l'écriture en supposant égal à l'unité le moment d'élasticité EI (ce qui suppose que toutes les pièces remplissent les conditions voulues pour avoir la même valeur de ce moment), sauf ensuite à diviser les résultats obtenus par la valeur de ce même moment. On posera ensuite $u = \varphi \sin \lambda$, $v = \varphi \sin \mu$, $q = p \cos i$; enfin dans les applications on fera bien de prendre pour unité, en vue d'éviter l'emploi des nombres fractionnaires, la plus petite l des longueurs A_0B, BC, CA_1, A_1A_2, A_2A_3, sauf à rétablir ultérieurement l'homogénéité; mais dans ce qui suit nous ne ferons pas cette dernière restriction.

La méthode de calcul que nous allons indiquer nous paraît la plus simple que l'on puisse employer.

Soient (*fig.* 4)

$$A_1A_2 = a_2,\ A_1A_3 = a_3,\ A_1A_0 = a_0,\ A_1B = b,\ A_1C = c;$$

A_1y la verticale supérieure en A_1 de A_2A_3, que pour plus de simplicité nous supposerons horizontal. La partie positive de l'axe des x sera dirigée de A_1 vers A_3 pour la partie A_1A_3 de l'arbalétrier, et de A_1 vers A_0 pour l'autre partie.

Nous emploierons la caractéristique Δ pour désigner la différence des fonctions de x qui représentent y pour deux tronçons consécutifs de l'arbalétrier A_0A_3.

Enfin nous poserons pour abréger

$$(c) \qquad F(x) = -q\frac{(x-a_3)^4}{24} + N_3\frac{x^2}{2}\left(a_3 - \frac{x}{3}\right),$$

$$(d) \qquad f(x) = -q\frac{(x-a_0)^4}{24} + N_0\frac{x^2}{2}\left(a_0 - \frac{x}{3}\right).$$

Nous aurons d'abord en estimant les forces suivant la verticale, puis en prenant les moments par rapport à A_1

$$(1) \qquad N_0 + N_1 + N_2 + N_3 + u + v = q(a_0 + a_3) + p_1 a_3 \cos i$$
$$+ p_0(a_0 + a_3)\cos i,$$

$$(2) \qquad F''(o) + N_2 a_2 = f'''(o) + ub + vc.$$

puis après le tableau suivant :

Pour A_1A_2 : (${A_2}$ constante arbitraire; conditions $y=o$ pour $x=o$, $x=a_2$).	(e) $\frac{dy}{dx} = F'(x) + N_2 x\left(a_2 - \frac{x}{2}\right) + A_2$, $y = F(x) - F(o) + N_2 \frac{x^2}{2}\left(a_2 - \frac{x}{3}\right) + A_2 x$. (I) $F(a_2) - F(o) + N_2 \frac{a_2^3}{3} + A_1 a_2 = o$.	En A_2, ou pour $x = a_2$, on a $\Delta \frac{dy}{dx} = o$, ou (III) $N_2 \frac{a_2^2}{2} + A_2 - A_3 = o$.
Pour A_2A_3 : (A_3 constante arbitraire; conditions $y=o$ pour $x=a_2$, $x=a_3$).	$\frac{d^2y}{dx^2} = F''(x)$, (e') $\frac{dy}{dx} = F'(x) + A_3$, $y = F(x) - F(a_2) + A_3(x - a_2)$. (II) $F(a_3) - F(a_2) + A_3(a_3 - a_2) = o$.	En A_1, ou pour $x=o$, les valeurs (e') et (f) sont égales et de signes contraires, ou (IV) $F'(o) + A_3 + f'(o) + C = o$.
Pour A_1C : (C constante arbitraire; condition $y=o$ pour $x=o$).	$\frac{d^2y}{dx^2} = f''(x) + v(c-x) + u(b-x)$, (f) $\frac{dy}{dx} = f'(x) + vx\left(c - \frac{x}{2}\right) + ux\left(b - \frac{x}{2}\right) + C$, $y = f(x) - f(o) + v\frac{x^2}{2}\left(c - \frac{x}{3}\right)$ $+ u\frac{x^2}{2}\left(b - \frac{x}{3}\right) + Cx$.	En C, ou pour $x = c$, on a $\Delta \frac{dy}{dx} = o$, $\Delta y = o$, ou (V) $v\frac{c^2}{2} + C - B = o$. (VI) $\frac{vc^3}{3} + Cc - Bc - B' - f(o) = o$.
Pour CB : (B, B' constantes arbitraires).	$\frac{d^2y}{dx^2} = f''(x) + u(b-x)$ $\frac{dy}{dx} = f'(x) + ux\left(b - \frac{x}{2}\right) + B$, $y = f(x) + u\frac{x^2}{2}\left(b - \frac{x}{3}\right) + Bx + B'$.	En B, ou pour $x = b$, on a $\Delta \frac{dy}{dx} = o$, $\Delta y = o$, ou (VII) $\frac{ub^2}{2} + B - A_0 = o$. (VIII) $\frac{ub^3}{3} + Bb + B' + f(a_0) - A_0(b - a_0) = o$.
Pour CA_0 : (A_0 constante arbitraire; condition $y=o$ pour $x=a_0$).	$\frac{d^2y}{dx^2} = f''(x)$, $\frac{dy}{dx} = f'(x) + A_0$, $y = f(x) - f(a_0) + A_0(x - a_0)$.	

Des équations (I), (II), (III) on déduit par l'élimination de A_2 et A_3

$$(3) \qquad \frac{a_3 F(a_2)}{a_2(a_3-a_2)} - \frac{F(o)}{a_2} - \frac{F(a_3)}{a_3-a_2} - N_2\frac{a_2^2}{6} = o.$$

De (I) et (IV) on tire

$$(\alpha) \qquad C = \frac{F(a_2)-F(o)}{a_2} - F'(o) - f'(o) + \frac{N_2 a_2^2}{3}.$$

De (α), (V), (VI)

$$(\beta) \qquad B = \frac{F(a_2)-F(o)}{a_2} - F'(o) - f'(o) + \frac{N_2 a_2^2}{3} + \frac{vc^2}{2}.$$

$$(\gamma) \qquad B' = -\frac{vc^3}{6} - f(o).$$

De (VII) et (VIII) par l'élimination de A_0

$$(\delta) \qquad \frac{ub^2}{6}(2a_0 - b) + Ba_0 + B' + f(a_0) = o,$$

ou en remplaçant B et B' par leurs valeurs (β) et (γ)

$$(4) \left\{ \begin{aligned} &\frac{a_0}{a_2}[F(a_2)-F(o)] - a_0[F'(o)+f'(o)] + [f(a_0)-f(o)] \\ &\qquad + \frac{ub^2}{6}(2a_0-b) + \frac{c^2v^2}{6}(2a_0-c) + N_2\frac{a_0a_2^2}{3} = o. \end{aligned} \right.$$

En éliminant N_2 dans les équations (3) et (4) au moyen de la formule (2), puis remplaçant F, F', F'', f, f', f'' par leurs valeurs déduites de (c) et (d) nous obtiendrons deux équations que nous nous dispenserons d'écrire et qui feront connaître N_2 et N_0, et le problème peut alors être considéré comme résolu.

Nous allons maintenant étudier quelques systèmes simples.

4. *Les arbalétriers sont reliés par un tirant* $A_0A'_0$, *et symétriquement par deux moises* BA'_1, A_1B' (*fig.* 5).

Nous conserverons à q, i, N_0, N_2 les mêmes significa-

tions que ci-dessus. Nous prendrons A_0 pour origine des coordonnées et une parallèle à N_0 pour axe des y.

Soient

φ l'effort longitudinal exercé par chaque moise sur l'un et l'autre des arbalétriers,

$$A_0B = a_0,\ BA_1 = b,\ A_1A_2 = a_2,\ A_2\widehat{B}A'_1 = \lambda,\ A_2\widehat{A}_1B' = \mu.$$

Nous avons d'abord

$$(1)\qquad \begin{cases} \operatorname{tang} \lambda = \dfrac{a_2 \sin 2i}{a_2 + b + \cos 2i}, \\ \operatorname{tang} \mu = \dfrac{(a_2 + b) \sin 2i}{a_2 + (a_2 + b) \cos i}. \end{cases}$$

Par une décomposition de forces on arrive facilement à ces résultats

$$(2)\qquad \begin{cases} N_0 = q\,\dfrac{(a_0 + b + a_2)}{2} - \dfrac{\varphi}{a_0 + b + a_2}[(b + a_2) \sin \lambda + a_2 \sin \mu], \\ N_2 = q\,\dfrac{(a_0 + b + a_2)}{2} - \dfrac{\varphi}{a_0 + b + a_2}[a_0 \sin \lambda + (a_0 + b) \sin \mu]. \end{cases}$$

Nous placerons par exemple l'origine en A_0 et nous prendrons pour la partie positive de l'axe des y la direction de N_0.

On déterminera en fonction de q et de φ les ordonnées η et ζ de B et A_1, et nous aurons, en remarquant que A_2 est le centre instantané de BA'_1

$$(3)\qquad \frac{\eta}{b + a^2} = -\frac{\zeta}{a_2}.$$

Considérons par exemple le cas simple où B et A_1 divisent A_0A_2 en trois parties égales et prenons $a_0 = b = a_2 = 1$.

Nous aurons dans ce cas

$$(1')\qquad \operatorname{tang} \lambda = \frac{\sin 2i}{2 + \cos 2i}, \quad \operatorname{tang} \mu = \frac{2 \sin 2i}{1 + 2 \cos 2i},$$

$$(2')\qquad \begin{cases} N_0 = \dfrac{3}{2}\,q - \dfrac{\varphi}{3}(2 \sin \lambda + \sin \mu), \\ N_2 = \dfrac{3}{2}\,q - \dfrac{\varphi}{3}(\sin \lambda + 2 \sin \mu). \end{cases}$$

Nous aurons aussi, en posant

$$(3) \qquad F(x) = -q\frac{(x-3)^4}{24} - N_3\frac{x^2}{2}\left(3 - \frac{x}{3}\right),$$

et désignant par A_0, B, B′, A_3 des constantes

Pour A_0B :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = F''(x) + \varphi\,[(1-x)\sin\lambda + (2-x)\sin\mu],$$

$$\frac{dy}{dx} = F'(x) + \varphi x\left[\left(1-\frac{x}{2}\right)\sin\lambda + \left(2-\frac{x}{2}\right)\sin\mu\right] + A_0.$$

$$(a) \qquad y = F(x) - F(0) + \varphi\frac{x^2}{2}\left[\left(1-\frac{x}{3}\right)\sin\lambda + \left(2-\frac{x}{3}\right)\sin\mu\right] + A_0 x.$$

Pour BA_2 :

$$\frac{d^2x}{dx^2} = F''(x) + \varphi\,(2-x)\sin\mu :$$

$$\frac{dy}{dx} = F'(x) + \varphi x\left(2-\frac{x}{2}\right)\sin\mu + B,$$

$$y = F(x) + \varphi\frac{x^2}{2}\left(2-\frac{x}{3}\right)\sin\mu + Bx + B'.$$

Pour BA_3 :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = F''(x),$$

$$\frac{dy}{dx} = F'(x) + A_3.$$

$$(b) \qquad y = F(x) - F(3) + A_3(x-3).$$

En exprimant que les ordonnées et les coefficients angulaires ont les mêmes valeurs en B et A_1 pour les couples de tronçons qui aboutissent à ces points, on trouve

$$(4) \qquad \begin{cases} A_3 = \dfrac{\varphi}{18}(8\sin\mu + \sin\lambda) + \dfrac{F(0) - F(3)}{3}, \\[2mm] A_0 = -\dfrac{\varphi}{18}(28\sin\mu + 8\sin\lambda) + \dfrac{F(0) - F(3)}{3}. \end{cases}$$

Les équations (a) et (b) donnent alors

$$(5)\quad \begin{cases} \eta = F(1) - \frac{1}{3}[2F(o) + F(3)] - \frac{\varphi}{18}(2\sin\lambda + 13\sin\mu), \\ \zeta = F(2) - \frac{1}{3}[F(o) + 2F(3)] - \frac{\varphi}{18}(\sin\lambda + 8\sin\mu). \end{cases}$$

Maintenant nous avons

$$\frac{\eta}{2} = -\zeta.$$

par suite

$$(6)\quad F(1) + 2F(2) - \frac{1}{3}[4F(o) + 5F(3)] - \frac{\varphi}{6}(6\sin\lambda + 47\sin\mu) = o.$$

En ayant égard à la seconde des formules ($2'$) et à la formule (3), on obtiendra une équation au moyen de laquelle on déterminera la valeur de φ.

5. Si dans le problème précédent considéré dans toutes sa généralité, nous supposons que les points A_1, A'_1 soient reliés par un entrait (*fig.* 6), ces deux points devant être considérés comme des appuis, il devra en être de même de B, B'.

Soient N_0, N, N_1, N_2 les réactions normales des appuis A_0, B, A_1, A_2, que l'on sait déterminer en fonction de q; τ_1 l'action longitudinale exercée par l'entrait sur chacun des arbalétriers, nous aurons

$$N = \varphi \sin\lambda,$$
$$N_1 = \varphi\sin\mu + \tau_1 \sin i = N\frac{\sin\mu}{\sin\lambda} + \tau_1 \sin i.$$

On peut ainsi déterminer τ_1 et φ, et le problème peut être considéré comme résolu.

6. Il y a un cas où le problème paraît indéterminé, c'est lorsque les points B et B' (*fig.* 7) coïncident respectivement

d'où

$$\varphi = \frac{5\dot{q}}{(4 + 16 \cos i) \sin 2i}.$$

Nous croyons devoir nous arrêter à ce dernier exemple espérant que l'esprit de notre méthode est suffisamment bien indiqué.

NOTE
SUR LE GISEMENT ET L'EXPLOITATION DE L'OR
A LA GUYANE FRANÇAISE (*)

Par M. FLORY, ingénieur civil des mines.

Situation géographique. — La Guyane française est comprise entre les deuxième et sixième degrés de latitude nord et les cinquante-deuxième et cinquante-septième degrés de longitude ouest du méridien de Paris. Ses limites sont : au nord, le fleuve Maroni et à l'est l'Atlantique ; elle confine au nord et à l'ouest à la Guyane hollandaise et aux pays intérieurs encore mal connus. Au sud, elle est séparée du Brésil par une zone connue sous le nom de *territoire contesté* et qui est l'objet d'un litige encore pendant entre les gouvernements français et brésilien, et dont l'origine remonte jusqu'à la conclusion du traité d'Utrecht, le 11 avril 1713.

Superficie. — La superficie de la Guyane est à peu près celle d'un triangle ayant 500 kilomètres de base sur l'Atlantique et 1.200 de hauteur jusqu'au Rio Branco, affluent de l'Amazone. La colonie est divisée administrativement en quatorze quartiers ou communes, dont la superficie totale est de 1.308.739 hectares.

Topographie. — Sur le littoral, on trouve des terres alluviales couvertes de savanes, parfois submergées, et con-

(*) A consulter : *Les placers de la Guyane française*, par de la Bouglise ; — *L'or à la Guyane française*, par Barveaux.

nues sous les noms de pripris, pinotières, savanes tremblantes ou en général terres basses. Les terres hautes commencent aux premiers rapides des rivières, et sont la base d'une chaîne de montagnes de 5 à 600 mètres de hauteur moyenne, se dirigeant vers les monts de Tumuc-Humac, qui s'étendent au sud de la Guyane, sur une dizaine de kilomètres de largeur, avec une altitude de 1.000 à 2.100 mètres.

Les vingt-deux fleuves qui la sillonnent sont les seules artères permettant à la vie active de circuler, non sans de grandes difficultés, dans cet immense territoire. Du nord au sud, on rencontre successivement le Maroni, la Mana, les rivières de Sinnamary, de Kourou et de Cayenne, le Mahury, l'Approuague, l'Ouanary et l'Oyapock. L'Ouassa, le Cachipour, le Couani, le Carreouene, le Mayacaré et la rivière de Vincent-Pinçon arrosent le territoire contesté.

Un très grand nombre de *criques*, souvent importantes, sont les affluents de ces nombreux cours d'eau, et les réunissent parfois ensemble en formant des lacs et des marais.

Le sol est couvert d'une végétation abondante; dans les terres basses on trouve les bois tendres, mais les terres hautes fournissent toute la série des bois durs, formant, à 60 kilomètres du littoral, d'immenses forêts, qui s'étendent jusqu'à des profondeurs inconnues.

Chef-lieu. — Cayenne est le chef-lieu de la colonie; il est situé sur la rive droite de la rivière, et à l'extrémité ouest de l'île de ce nom, par 4°56' de latitude nord et 54°35' de longitude ouest.

C'est le seul port ouvert au commerce, qui doit y passer pour toutes ses transactions : c'est aussi le centre de toutes les relations et la résidence des autorités administratives et judiciaires.

Moyens de communication. Service postal. — Un service

mensuel de la compagnie générale transatlantique relie Cayenne à Saint-Nazaire, avec escales à Surinam, Demerari, la Trinidad, et aux Antilles françaises; la durée du voyage est de vingt-trois jours. Le service postal est en outre assuré par un steamer de la subdivision navale, qui porte et reçoit les dépêches transmises à Surinam, le dix de chaque mois, par la voie anglaise.

La station télégraphique la plus proche de Cayenne est à Demerari, chef-lieu de la Guyane anglaise, avec lequel on ne communique difficilement que deux fois par mois. Cette impossibilité de correspondre rapidement avec la métropole est une des principales difficultés de la vie commerciale.

Après Cayenne, dont la population dépasse huit mille âmes, soit le tiers de la population de la colonie entière, viennent, sur chacune des rivières, et portant le même nom, les chefs-lieux des quartiers ou *bourgs*, résidence du maire, du juge de paix, du desservant, et de la brigade de gendarmerie chargée de la police du territoire.

Une ligne télégraphique réunit au chef-lieu les quartiers *sous le vent de Cayenne* jusqu'à Mana. Un petit bateau à vapeur, appartenant à une société locale, dessert ces localités jusqu'au Maroni, et, deux fois par mois, transporte les courriers concurremment avec l'un des bâtiments de l'État en station à la Guyane.

En dehors de ces occasions, on ne peut communiquer d'un bourg à l'autre qu'à l'aide d'embarcations connues sous le nom de goélettes ou tapouilles, et qui n'offrent aucune garantie ni comme sécurité ni comme rapidité des transports.

Une route coloniale partant de la pointe de Macouria sur la rade de Cayenne se dirige vers Mana, en traversant les quartiers de Kourou, Sinnamary et Iracoubo. Quelques autres routes d'un ordre secondaire mettent les différents quartiers de la colonie en rapport avec les centres habités.

Mais à l'exception des parties voisines du chef-lieu, aucun de ces chemins n'est carrossable.

Aperçu géologique. — La géologie de la Guyane est aussi peu connue que sa topographie : un petit nombre d'hommes compétents ont parcouru la colonie, et plusieurs d'entre eux n'ont pas publié leurs observations, auxquelles d'ailleurs la rareté des accidents topographiques et l'abondance inouïe des végétaux qui recouvrent le sol ont souvent opposé des obstacles invincibles.

La suite résumera l'opinion généralement admise sur la constitution du sol et l'origine des gisements aurifères.

En Guyane, le relief général de la contrée présente des ondulations parallèles à la côte, et qui forment les *sauts* ou rapides dans les rivières; peu fréquentes d'abord, elles se multiplient en s'avançant vers l'intérieur. On trouve à peu près partout une couche de terre végétale très argileuse reposant sur une couche d'agrégation plus ou moins décomposée, qui n'est autre chose qu'un conglomérat feldspathique et quartzeux, renfermant des rognons ferrugineux et s'appuyant sur les roches dioritiques qui forment le sous-sol de la Guyane.

Ce conglomérat, vulgairement appelé *roche à ravets*, contient une grande variété de minéraux : fer oligiste, grenat, zircon, fer titané, fer oxydulé, tourmaline, staurotide, etc. La roche à ravets, qu'on retrouve presque partout, aurait elle-même son origine dans un phénomène de transport. Partout où le relief primitif du sol ne semble pas avoir été modifié, il s'est déposé sur la roche à ravets une couche de sable blanc quartzeux de 1 à 3 mètres d'épaisseur, surmontée d'une couche d'argile blanche de 2 mètres. Dans le voisinage des montagnes de formation récente, la roche à ravets est beaucoup plus désagrégée et parfois accompagnée de schistes argileux et de grès schisteux ou psammites, qui proviendraient du métamorphisme des sa-

bles quartzeux et de l'argile. A l'époque géologique où le relief actuel du sol a été constitué, la roche à ravets, en se soulevant, a déterminé le glissement des sables semi-fluides qui ont entraîné avec eux les argiles; le phénomène devenant plus intense, la roche à ravets a été parfois disloquée elle-même, et ses débris sont venus former, avec les sables et les argiles éboulés, les dépôts où l'on trouve l'or. Ce cataclysme marquerait aussi l'époque de la venue de l'or, apporté dans des dissolutions aqueuses de silice, qui ont trouvé leur écoulement naturel par les fentes et fissures déterminées par la transformation du relief; c'est à lui que seraient dues les influences qui transformaient les sables quartzeux en psammites, les argiles en schistes, et la roche à ravets en poudingues que la vapeur d'eau dépouillait par places de leur argile. L'or se serait ainsi arrêté dans les psammites à l'état de folle farine; dans les schistes, il aurait formé des paillettes plus ou moins ténues; enfin, dans la roche à ravets, il a rempli les vides sans forme définie laissés par l'argile.

Un peu plus tard, et l'abaissement de la température s'accentuant toujours, de véritables sources thermales ont donné naissance au remplissage des filons quartzeux, dans lesquels l'état de dissémination de l'or dépendait à la fois et de la température et des poussées ultérieures qui ont pu se produire et ont souvent contribué à l'enrichissement des alluvions aurifères en déterminant la désagrégation des affleurements.

Alluvions aurifères. — La couche aurifère est formée de graviers, de morceaux de quartz, de débris de roches et de minéraux divers cimentés par une pâte argileuse rougeâtre; elle est généralement séparée de la roche à ravets, sur laquelle elle repose, par une mince couche d'argile bleue. Les fragments de quartz qu'elle contient souvent démontrent à n'en pas douter, par leur identité avec les blocs visibles

sur les flancs des montagnes voisines, qu'ils proviennent d'éboulements détachés de ces montagnes, et qui, d'abord lavés et nivelés par les eaux, ont été ensuite rendus compacts peu à peu par des apports succcessifs de matières argileuses.

C'est principalement dans les groupes de montagnes où le sol paraît avoir été fortement disloqué, qu'on trouve la couche aurifère, dont l'épaisseur, le degré d'agrégation et la richesse dépendent intimement de la topographie générale de l'endroit. L'abondance du quartz dans la couche aurifère, surtout du quartz résinite, est un indice favorable, et, comme on en rencontre partout où l'or existe, on peut dire qu'il est une condition nécessaire, mais non suffisante.

Dans une vallée étroite, la couche existe fréquemment : stérile sur un versant, elle peut être parfois très riche sur l'autre; puissante dans une crique encaissée, elle sera de faible épaisseur au pied d'une montagne à flancs peu inclinés, et alors elle produit peu. On retrouve l'alluvion aurifère dans les marécages et points bas où aboutissent les criques; dans ces localités, elle est composée de sables et de graviers plus ou moins agrégés par de l'argile; elle ne contient pas de pépites, mais seulement de l'or fin, qui existe d'ailleurs en quantité variable dans la vase de toutes les rivières. En plusieurs endroits, on a signalé des débris de quartz épars au milieu de la terre végétale; ces débris, dont le volume est très variable, sont parfois très riches en or; ils sont le plus souvent à arêtes vives et de formes irrégulières, mêlés à la terre sans trace de graviers et épars sans ordre à la surface du sol; quelques rares explorateurs, et M. Barveaux le premier, en 1872, en recherchant la continuité de ces dépôts, ont déjà été amenés à des affleurements de gîtes dont l'étude reste à faire, et qui seraient assez fréquents dans le bassin des rivières d'Approuague et de la Mana.

Le défaut d'observations précises et coordonnées ne permet pas de tracer les règles générales auxquelles doit être

soumis le gisement de l'or en Guyane. On peut seulement dire que partout où le soulèvement récent qui a donné à la contrée son relief actuel ne s'est pas produit, il n'y a rien à espérer. Aussi, lorsque les chercheurs d'or trouvent la couche de sable blanc nettement déposée sur la roche à ravets, abandonnent-ils la région. On comprend que cette composition du sol ait un rapport avec la topographie des lieux, et même une influence sur la végétation, tous faits que les prospecteurs ont soigneusement notés.

Lorsqu'on arrive à la couche, l'abondance du quartz résinite est d'un bon augure; parfois l'or s'y trouve concentré dans les parties supérieures de l'argile bleue; il est alors de couleur rouge.

La roche de transport contient souvent du quartz, mais toujours vitreux, et sans aucun des caractères bien incertains qui distinguent les quartz riches des quartz pauvres. On a remarqué que la richesse en or semblait être en raison directe du peu de résistance des quartz sous le marteau, et que ceux d'entre eux qui sont riches sont à texture feuilletée ou rubanée, ne sont pas cristallins, ont une couleur blanchâtre, un éclat gras et résineux, et contiennent souvent des mouches de pyrite et d'oxyde de fer. Au contraire, les quartz pauvres sont à texture compacte; ils sont tenaces et à cassure vitreuse et conchoïde.

L'or des quartz blancs est jaune pâle et contient généralement du platine et de l'argent; il est surtout en lamelles ou intimement mélangé; dans le quartz résinite son mode de dissémination est le même, mais sa couleur est jaune, et il est plus pur.

Exploitation. — Les procédés d'exploitation employés jusqu'à ce jour sont des plus primitifs et calqués sur les anciennes méthodes de Californie. Ils ont suffi pour les lavages, mais deviendront absolument insuffisants dès qu'on s'attaquera sérieusement à la recherche des filons

aurifères dont l'exploitation seule assurera l'avenir de l'industrie aurifère en Guyane.

Recherches. — Tout individu qui a appris la nouvelle d'une découverte faite sur un point du territoire, ou qui désire chercher en un lieu non encore concédé, demande au gouverneur un permis de recherches et accompagne sa demande d'un plan établi par l'arpenteur du gouvernement. Cette demande, inscrite à la date et à l'heure à laquelle elle a été présentée, est accordée dans le délai d'un mois après son insertion au journal officiel de la colonie. Le permis est gratuit et valable pour un an.

On forme alors une petite expédition, conduite par un *prospecteur* qui a la direction absolue de l'entreprise, et qui, arrivé au point de repère indiqué sur son plan officiel, se dirige, la boussole à la main, vers le terrain qu'il est autorisé à explorer. La troupe, venue en canot aussi près que possible, met pied à terre et pénètre en plein bois, portant à dos outils et provisions; elle n'avance qu'en se frayant un sentier la hache ou le sabre d'abatage à la main. On parcourt en tous sens le terrain intéressant, et lorsque le chef croit être arrivé sur un point favorable, il fait creuser des trous d'environ un demi-mètre carré de section. Si l'on n'a rien trouvé à 2 ou 3 mètres de profondeur, on abandonne pour chercher ailleurs; si l'on atteint la couche, on la traverse en mettant de côté un échantillon pris à sa partie supérieure, un autre en son milieu, et un dernier dans la couche argileuse sous-jacente. Ces trois échantillons sont essayés à la *batée*, et le résultat moyen donne la teneur en or. Un certain nombre de trous, placés de distance en distance, permettent de reconnaître l'étendue de la couche et sa richesse.

La batée dans laquelle on fait l'essai, et qui pendant longtemps a été le seul appareil de lavage usité, est une sorte de cuvette à surface conique, de $0^m,30$ à $0^m,40$ de diamètre sur $0^m,035$ à $0^m,040$ de hauteur, faite d'un mor-

ceau de bois léger et fibreux pris généralement dans un arcabas; elle est soigneusement lissée à l'intérieur avec un morceau de verre, et la génératrice du cône est un arc de parabole très ouvert.

On remplit la batée de terre provenant de la couche et on la transporte dans le cours d'eau voisin, en s'installant là où le courant est faible, ou dans une mare. On commence par remuer le contenu à la main, d'abord à la surface et en pénétrant peu à peu dans l'intérieur, en ne laissant sortir de la batée que la terre délayée emportée par le courant; après les avoir bien examinés, on rejette les fragments de roche dont le débourbage est complet. Il ne reste plus dans la batée qu'un schlich noir composé de graviers, d'or et d'un peu de terre délayable; on l'immerge en lui imprimant un mouvement giratoire contrarié qui commence à faire descendre les parties lourdes, et on continue à agiter avec la main pour terminer le débourbage. En répétant plusieurs fois ces opérations, les graviers se séparent de la terre délayable qui restait encore et que le courant d'eau entraîne; lorsque celle-ci s'écoule claire, le débourbage est achevé.

On soulève la batée en la laissant à peine immergée, et, la supportant des deux mains par les bords, on lui imprime un mouvement giratoire saccadé continu pour faire descendre les parties lourdes; les parties les plus volumineuses, reconnues exemptes d'or, sont rejetées, et la batée est assez légère pour flotter; en la faisant alors tourner en lui imprimant un balancement spécial, l'eau prend dans le vase un mouvement de rotation et se renouvelle; les parties les plus légères sont éliminées peu à peu, et de temps à autre on facilite l'opération en ramenant vers la circonférence le dépôt formé au sommet du cône. Lorsqu'il ne reste plus qu'un schlich noir, on le ramène sur les bords de la batée, d'où quelques tours l'expulsent bientôt. Le résidu d'or est encore mêlé de quelques grains de sable, que l'on

enlève aisément. Il ne reste plus qu'à fixer la valeur du résidu, soit en le pesant, soit en évaluant sa richesse à l'œil, méthode usuelle et dans laquelle les prospecteurs arrivent à un degré d'habileté vraiment extraordinaire. On dit que la couche donne la *couleur* lorsqu'on obtient dans la batée quelques parcelles d'or visible; elle *paye un sou* pour $1^{gr},5$ à 2 grammes d'or à la tonne. (La batée contenant 10 kilogrammes de terre, son résidu est donc alors de $0^{gr},015$ à $0^{gr},020$.)

Au début des exploitations aurifères, les prospecteurs abandonnaient les terrains où la batée ne payait que quatre sous, soit 7 grammes d'or à la tonne.

La prospection terminée, si les résultats en sont favorables, on demande le permis d'exploitation avant l'expiration du permis de recherches. Cette nouvelle licence est assez rapidement obtenue, mais entraîne l'obligation de payer certaines redevances en sus des droits d'octroi et d'exportation auxquels l'or est soumis. Munis de leurs titres et des plans de leur concession, dont ni la contenance ni la situation exactes ne sont garanties, les permissionnaires peuvent organiser leur exploitation.

Ils font généralement choix d'un administrateur résidant à Cayenne, qui est chargé de recruter les travailleurs, d'assurer le ravitaillement du placer, l'exportation de l'or produit, et de représenter les concessionnaires auprès des agents des pouvoirs publics.

Cet administrateur doit avoir un correspondant dans le bourg chef-lieu du quartier où est situé le placer, afin d'assurer la réexpédition des approvisionnements jusqu'au *dégrad*, soit avec des canots qu'il arme quand le besoin s'en fait sentir, soit avec des pirogues appartenant aux naturels du pays.

Transports. — Les équipages, composés de quatre à dix hommes, doivent, moyennant un prix convenu d'avance, transporter de 500 kilogrammes à 2 tonnes par voyage;

ils transportent aussi les ouvriers nouvellement engagés, malades ou congédiés, ainsi que la production d'or, et telle est la difficulté de la navigation dans certaines rivières, à cause de la fréquence des rapides, que, sur la Mana par exemple, le transport kilométrique d'une tonne coûte jusqu'à 4 et 5 francs.

Au dégrad ou débarcadère du placer, les chargements sont reçus par un magasinier, qui les expédie jusqu'à l'établissement, à l'aide de brigades de charroyeurs portant 25 kilogrammes par homme et ne parcourant pas plus de 10 kilomètres par jour.

Le directeur du placer, qui a été envoyé en avant, a choisi une clairière pour y faire les abatis nécessaires à l'établissement des constructions en bois et feuillage où le personnel et les différents services s'installeront. Les ouvriers étant nourris par l'exploitant, il faut établir des cuisines et installer une blanchisserie; une infirmerie est aussi nécessaire.

Longtom. — Dans les territoires où l'eau est peu abondante et où la couche ne donne pas d'or fin, le lavage se fait dans l'appareil connu sous le nom de *longtom*, sorte de table dormante. Un barrage, placé en haut du champ d'exploitation, sert à recueillir les eaux, que des rigoles conduisent aux *instruments;* ceux-ci sont placés à proximité des chantiers de terrassement, et on y jette à la pelle le déblai provenant de la couche préalablement mise à découvert. Dès que la distance devient un peu plus grande, on déplace l'instrument. Le longtom est une caisse de 4 mètres de longueur, ses côtés ont $0^{m},30$ de hauteur, sa largeur est de $0^{m},70$; il est ouvert à l'une des extrémités; l'autre est munie d'une plaque de tôle cintrée formant un crible qui dépasse le fond de $0^{m},40$ et se relève d'autant. Au-dessous du crible, on place une caisse carrée un peu plus large et bordée de planchettes, présentant en amont une profondeur de $0^{m},05$, et de $0^{m},02$ seulement en aval; un tasseau

de 2 à 3 centimètres, placé en saillie sur le fond, arrête au passage les matières tombant du crible. Les déblais chargés sont désagrégés à la main et à la pelle, les refus du crible rejetés après examen minutieux, le reste tombe dans la caisse inférieure, qu'on agite pour faciliter l'entraînement des matières légères; à la fin de la journée on concentre les graviers et on termine l'opération à la batée. Un longtom occupe une douzaine de travailleurs, pelleurs, piocheurs et laveurs, et passe de 4 à 5 mètres cubes de terre par journée de huit heures, avec une consommation de 8 à 10 mètres cubes d'eau.

On préfère le *slouss* (*sluice* des Anglo-Américains) toutes les fois que l'eau est assez abondante et que le terrain se prête à son établissement. Il est formé de dalles de 4 mètres de long, s'emboîtant les unes dans les autres, et a 24 à 60 mètres de longueur totale. Le fond et les côtés sont formés de planches de $0^m,30$ à $0^m,35$ de large. Les emboîtements, exactement lutés, forment autant de petites cascades au-dessous desquelles on place un *riff*, sorte de plaque de fonte ayant la largeur de la dalle et coupée de nervures de $0^m,02$ de profondeur placées en travers du courant; entre ces nervures, on verse le mercure destiné à amalgamer l'or. Au-dessus du riff certains mineurs disposent un tasseau pouvant pivoter à plat et destiné à retenir une grille qui diminue l'entraînement des matières à laver. Le slouss, qui reçoit l'eau recueillie comme nous l'avons vu plus haut, est toujours disposé à côté des chantiers d'abatage; son inclinaison, qui est généralement de 8 à 10 p. 100, dépend de la nature de la couche et de la quantité d'eau dont on dispose. Un ou deux piocheurs fournissent le déblai, que deux ou trois jeteurs à la pelle chargent à la tête du slouss. Un laveur s'y tient pour désagréger les terres et régler la venue d'eau. Trois aides, placés le long de l'appareil, sont chargés de désagréger les pelotes d'argile et de rejeter les grosses pierres. Un dernier ouvrier, placé à la

queue du slouss, dégage son ouverture au fur et à mesure de l'arrivée des matières stériles. Le chef de l'appareil, qui a présidé à son installation, surveille spécialement le débit de l'eau, les riffs, et en général la bonne exécution du travail; les piocheurs sont sous ses ordres, il prévient le vol des pépites, les recueille dès qu'il s'en présente, et, par de fréquents essais à la batée, se rend compte de la proportion d'or entraînée. Le soir, il lève la production et réunit l'amalgame contenu dans les riffs. En général, on change un slouss de place une fois par semaine, après l'avoir soigneusement brossé, et cet appareil, qui consomme de 4 à 5 mètres cubes d'eau par tonne de terre lavée, passe de 10 à 12 mètres cubes par journée de travail. Son installation se fait en huit heures avec tout le personnel du chantier. Il n'y a pas encore eu d'exemple d'installations plus complètes, soit de slouss à long parcours où les terres seraient amenées à l'aide de roulages très simples, soit de débourbages mécaniques avec appareils de classement qui permettraient d'augmenter notablement la production.

Presque partout l'eau est abondante et à proximité des travaux; les bois sont toujours sur place et leur abatage précède nécessairement l'exploitation de la couche, et cependant, malgré ces avantages naturels, aucun exploitant n'a encore essayé des installations mécaniques, qui seraient probablement très avantageuses en simplifiant la main-d'œuvre très chère et qu'il est très difficile de se procurer.

Main-d'œuvre et personnel. — En Guyane, le recrutement du personnel nécessaire, aussi bien pour l'industrie agricole que pour l'industrie aurifère, est une des principales difficultés auxquelles on se heurte à chaque instant. Les prospecteurs sont généralement des créoles du pays; mais s'ils sont parfois doués d'un tempérament de fer et d'un courage à toute épreuve, malgré le flair vraiment inouï dont on pourrait citer de fréquents exemples, ils sont le plus souvent à tel point dénués des notions techniques les plus élémentaires

qu'on en connaît qui, ayant fait des découvertes remarquables, se sont plus tard trouvés dans l'impossibilité absolue de revenir sur les points intéressants qu'ils avaient signalés. Pour les directeurs de placers, le choix est encore plus restreint si c'est possible. Les besoins auxquels ils doivent répondre sont multiples ; ils ont à surveiller les travaux, à administrer un personnel hétérogène qu'il faut nourrir, transporter et soigner dans les cas fréquents de maladie. Une santé robuste leur est plus nécessaire qu'à tous autres; leur autorité morale doit être absolue.

Jusqu'à ce jour peu de placers ont eu assez d'importance pour mettre à la tête de leur exploitation un ingénieur réunissant les qualités nécessaires que doit posséder un chef d'industrie, à un degré d'autant plus élevé qu'il se trouvera dans un milieu plus dénué de ressources.

Les chefs de chantier et chefs de slouss sont d'anciens ouvriers créoles pour la plupart, ayant une certaine pratique du métier, une petite instruction primaire, et auxquels leur bonne conduite et leur moralité ont valu un poste toujours très envié. Ils doivent se connaître un peu en construction et en charpente, ayant toute sorte de travaux à conduire. Quant aux ouvriers, les canotiers se recrutent exclusivement parmi les nègres et les quelques indiens aborigènes encore existants; ils sont pour la plupart adonnés à l'ivrognerie, mais exercent certainement le métier le plus pénible qu'il y ait à faire dans la colonie; leur salaire varie de 7 à 8 francs par jour à la tâche, et de 4 à 5 francs à la journée. Aux placers même, parmi les terrassiers, on trouve beaucoup de créoles, rarement des Européens, et un certain nombre de coolies indous; les Chinois et Annamites fournissent des magasiniers, des domestiques et quelques ouvriers d'art. Les charroyeurs se recrutent parmi les transportés arabes soumis à la résidence obligatoire; la profession de scieur de long semble être le privilège des transportés européens.

Depuis une décision prise par le gouvernement anglais, et qui interdit le recrutement des coolies indous pour la Guyane, une perturbation profonde s'est produite dans la colonie. En présence du manque absolu de bras, on s'occupe en ce moment d'y attirer un courant d'immigrants chinois. On sait que les traités internationaux empêchent le recrutement des travailleurs noirs de la côte d'Afrique.

Salaires. — Le salaire ordinaire de la journée, pour les ouvriers libres, varie de 4 à 5 francs; pour les coolies indous, en tenant compte des primes à leur payer, des frais qu'occasionne leur transport et leur nourriture, on arrive à 2f,50 par jour. Les coolies chinois coûtent de 3f,50 à 3f,75. Mais ces prix ne s'appliquent guère qu'à la journée de présence. En tenant compte des pertes de temps, des frais de voyage, des chômages pour maladies, des frais de médicaments, etc., etc., on arrive, selon les distances des établissements au chef-lieu, à un prix de revient de la journée de travail qui est rarement inférieur à 10 francs et atteint parfois 15 francs.

Avant d'abandonner les questions qui touchent à l'organisation du travail, il faut ajouter que le climat de la Guyane est loin d'être aussi meurtrier qu'on le dit souvent. Mais le moindre déplacement y est très difficile et ne s'opère qu'au prix de fatigues considérables; la vie matérielle y est malaisée et très chère. Les habitants se recrutent en outre parmi ces déclassés de tout rang et de tout ordre qui, trop souvent dépourvus de tout sens moral, vivant sans hygiène et obéissant seulement à leurs vices, ne tardent pas à succomber, victimes d'eux-mêmes plus encore que du climat.

Législation. — La législation qui régit les exploitations aurifères de la Guyane diffère notablement des dispositions de la loi du 21 avril 1810. On conçoit aisément que le mode de concession des gisements d'alluvions aurifères, que l'on peut exploiter sans pour ainsi dire immobiliser aucun ca-

pital, devait différer des règles si prudentes édictées par la loi des mines, et qui sont la sécurité du concessionnaire aussi bien que de l'État qui crée une propriété nouvelle sans léser dans aucun de ses droits le propriétaire de la surface. Mais on est en droit de se demander si ce régime est bien celui qui convient à l'établissement d'exploitations durables et de longue haleine, comme le seront sans doute celles des filons, que de tous côtés on recherche en ce moment.

Les capitalistes se préoccuperont toujours, non sans raison, d'un régime fiscal qui n'a rien de définitif, et qui impose l'or, à sa sortie, à un droit uniforme *ad valorem*, écrasant pour les produits de certaines exploitations peu productives ou très éloignées, facile à supporter au contraire dans les cas de richesses exceptionnelles ou de situations favorisées. La redevance proportionnelle à laquelle sont soumis en France les produits des mines, et qui est une fraction du revenu net, est bien plus rationnelle et bien plus équitable.

Le mode d'attribution des permis d'exploitation laisse lui-même beaucoup à désirer par suite de l'incertitude qui accompagne toujours les délimitations des périmètres concédés, sans autre base officielle qu'une carte imparfaite et quelques points de repère douteux, dont la distance aux points qui pourraient devenir l'objet de litiges rend immédiatement ruineuse pour les parties toute vérification par experts.

La colonie et surtout les exploitants ne pourraient que gagner beaucoup par l'institution en Guyane d'un service des mines. Il trouverait des aliments inépuisables à son activité dans ce pays complètement inconnu, où se trouvent de très grandes richesses minérales, mais que le manque de travailleurs, et plus encore le défaut d'hommes éclairés, laissent dormir sous les épais ombrages de la forêt vierge.

Les principales dispositions administratives qui ont régi

et régissent l'exploitation de l'or en Guyane sont énumérées ci-dessous :

10 mars 1856. — *Arrêté* de principe autorisant l'exploitation à titre gratuit.

11 mai 1858. — *Arrêté* promulgant la loi de 1810. — *Décret* modificatif et loi.

4 décembre 1861. — *Arrêté* établissant une redevance de 0f,05 par hectare.

27 novembre 1862. — *Arrêté* fixant à 0f,10 la redevance par hectare.

25 octobre 1866. — *Arrêté* déterminant les attributions de l'arpenteur.

24 juin 1867. — *Arrêté* déterminant les attributions de l'arpenteur, les tarifs des plans, etc.

18 février 1871. — *Arrêté* réglant les conditions de payement de la redevance et prononçant la déchéance pour défaut de renouvellement en temps voulu.

25 août 1871. — *Arrêté* fixant à 0f,50 par hectare la redevance pour le permis d'exploitation. — Attribution exceptionnelle à 0f,10 par hectare, aux tiers demandeurs de terrains antérieurement concédés et non renouvelés.

17 octobre 1872. — *Décision du conseil privé* fixant les modifications apportées à la législation des terrains aurifères en fleuves et rivières.

20 février 1873. — *Décision du conseil privé.* La redevance d'exploitation sur les propriétés particulières est due à raison de 0f,10 l'hectare.

10 mai 1873. — *Décision du conseil privé* assignant le numéro d'inscription du plan chez l'arpenteur et fixant le délai de sa remise ainsi que celui du dépôt de la demande à la direction de l'intérieur.

15 septembre 1873. — *Décision du conseil privé* fixant un délai de vingt-quatre heures pour la durée de l'inscription et vingt-quatre heures pour le dépôt de la demande.

21 janvier 1874. — *Décision du conseil privé.* Décla-

rations d'or et formalités à remplir pour les cessions de placer.

16 juillet 1874. — *Arrêté.* Déclarations d'or; constatation des productions; police des concessions du Maroni.

26 juin 1875. — *Décision du conseil privé.* Les terrains pour lesquels le renouvellement n'a pas été demandé seront indiqués au journal officiel de la colonie.

24 juillet 1875. — *Décision du conseil privé.* Les demandes en renouvellement à $0^f,10$ par hectare ne pourront être admises que s'il n'y a pas de réduction de périmètre.

28 octobre 1875. — *Décision du conseil privé.* Règles de concession des affluents et criques.

28 octobre 1876. — *Arrêté.* Réglementation de la vente de l'or natif.

20 mars 1877. — *Arrêté* étendant aux contrats d'échange, de nantissement et de dépôt, avec mandat, les dispositions de l'arrêté du 28 octobre 1876.

14 mai 1878. — *Décision du conseil privé* relative aux renouvellements semestriels à titre gratuit qui donneront lieu à un dépôt de 500 francs.

8 mai 1880. — *Circulaire* du gouverneur interdisant à tout serviteur de l'État de faire partie, même indirectement, des entreprises commerciales, industrielles et financières.

25 août 1880. — *Circulaire* déterminant les conditions relatives aux demandes de concession de terrains aurifères à titre gratuit.

18 mars 1881. — *Décret* en vigueur à ce jour, résumant les dispositions des arrêtés et décisions énumérés ci-dessus et abrogeant ou modifiant une partie d'entre eux.

Le décret du 18 mars 1881, promulgué par arrêté du 4 mai de la même année, se compose de quarante-sept articles répartis en sept titres.

Le titre Ier, qui comprend les articles de 1 à 4, est relatif aux conditions générales auxquelles peuvent se faire la re-

cherche et l'exploitation des gisements aurifères. Nul ne peut faire de recherches sans l'autorisation du propriétaire du sol, ou de l'administration s'il s'agit d'un terrain appartenant à la colonie. Le propriétaire du sol doit, s'il entreprend des recherches sur son héritage, en faire la déclaration au directeur de l'intérieur.

Le permis de recherches donne le droit de faire tous travaux utiles sur les terrains qui en sont l'objet, excepté dans les enclos murés et à moins de 100 mètres de distance des clôtures ou habitations.

Le titre II traite des conditions spéciales du permis de recherches qui peut être accordé sans exceptions à toute personne qui en fait la demande. L'inscription de la demande est faite sur un registre spécial, et, outre la désignation des terrains demandés, contient l'heure et la date à laquelle il y est procédé.

Dans les vingt-quatre heures qui suivent la délivrance du récépissé, le demandeur se présente chez l'arpenteur du gouvernement, qui lui délivre le plan du terrain demandé en quarante-huit heures.

Un nouveau délai de vingt-quatre heures est accordé au demandeur pour la remise de son plan à la direction de l'intérieur.

Les demandes prennent rang suivant la date et l'heure de l'inscription, qui consacrent le droit de priorité.

Dans le mois de son inscription, la demande est publiée au journal officiel de la colonie, et les oppositions, s'il s'en produit, sont remises à la direction de l'intérieur pendant les trente jours qui suivent celui de l'insertion. A l'expiration de ce délai, les oppositions ont été jugées en conseil privé, et le directeur de l'intérieur délivre le permis de recherches, qui est gratuit, valable pour un an, et ne peut porter sur une étendue supérieure à 5.000 hectares; il peut être renouvelé dans des cas spéciaux.

Avec l'article 16 commence le titre III, relatif aux per-

mis d'exploitation, dont la demande doit être remise à la direction de l'intérieur avant l'expiration du permis de recherches, sous peine de déchéance; le montant de la redevance pour une année doit être déposé en même temps. Le permis d'exploitation est délivré par le gouverneur, en conseil privé, dans le délai d'un mois. Le permis décrit le terrain concédé, indique les points de repère, et, par l'article 21, l'administration déclare ne garantir ni la contenance ni la situation exactes des périmètres concédés, qui ne peuvent en aucun cas embrasser plus de 5.000 hectares. Le droit au permis d'exploitation peut être cédé; les actes portant cession ou mise en société d'un droit d'exploitation sont enregistrés dans la colonie au droit de 2f,50 p. 100.

Le permis d'exploitation est donné pour neuf années et est indéfiniment renouvelable à la suite d'une simple demande remise avant l'expiration des neuf années, et sur laquelle il est statué dans le délai d'un mois.

Les obligations des porteurs de permis d'exploitation sont énumérées dans le titre IV, articles 30 à 36. Ils doivent payer une redevance fixe et annuelle par hectare et acquitter une taxe à l'entrée en ville par kilogramme d'or natif et un droit sur la valeur du métal précieux à sa sortie de la colonie. Ces impôts, qui sont réglés chaque année pour l'année suivante, lors du vote du budget local, s'élèvent actuellement à 0f,50 par hectare, à 5 francs par kilogramme pour le droit d'octroi, et à 8 p. 100 de la valeur, évaluée à 2f,78 le gramme, pour le droit d'exportation. L'or natif sortant d'un placer doit être accompagné d'un certificat de sortie détaché d'un registre à souche, coté et paraphé par le maire de la commune; ce *laissez-passer*, longuement détaillé, porte le nom des transporteurs successifs et doit être présenté à toute réquisition des agents de l'autorité.

Le titre V prévoit les règles auxquelles sont soumis les permis de recherches et d'exploitation dans les cours d'eau.

Par les articles 38 et 39 du titre VI, les permissionnaires antérieurs à la promulgation du décret du 18 mars bénéficient des avantages de cette nouvelle règle.

Le titre VII est consacré aux pénalités.

Et enfin l'article 46 indique que la loi du 21 avril 1810 recevra son application si des demandes de concessions de mines sont présentées.

Découverte de l'or en Guyane. — Un Indien, émigré du Brésil, nommé Paoli, ayant remarqué l'analogie des terrains baignés par la rivière d'Approuague avec ceux où l'on trouvait l'or sur les bords de l'Amazone, son ancienne patrie, signala le premier l'existence de l'or, en 1853.

La nouvelle de cette découverte se répandit bien vite, même au dehors de la colonie, et l'on vit bientôt se produire un mouvement d'immigration assez semblable à celui qui avait fait naguère du désert de Californie un des territoires les plus prospères des Etats de l'Union.

D'abord parqués sur les bords de l'Approuague, les chercheurs d'or se répandirent peu à peu dans les bassins des autres rivières, et, lors de la promulgation du décret du 18 mars 1881, il avait été accordé 2.651 permis. De cette date, où prend naissance un nouveau régime, jusqu'au 3 novembre 1881, il a été déjà donné 324 permis, s'étendant sur une surface de 1.137.267 hectares.

Statistique de la production de l'or. — La production de l'or, d'après les déclarations officielles des exploitants, a suivi la marche ascendante indiquée par le tableau suivant :

	KILOG.		KILOG.		KILOG.		KILOG.
1868	297	1872	758	1875	1.835,087	1878	1.717,470
1869	382	1873	1.032	1876	1.707,205	1879	2.179,454
1870	412	1874	1.668	1877	1.618,671	1880	1.872,189
1871	625						

En 1881, pendant les dix premiers mois, la production mensuelle moyenne par placer s'établissait ainsi :

	kilog.
Saint-Elie	42.805
Enfin	31,441
Dieu-Merci	14,078
Société des gisements aurifères de la Guyane	11,860
Elysée	8,789
Bonne-Aventure	8,736

C'est-à-dire que 6 établissements, sur 324 concessions régulières, produisent plus de 8 kilogrammes par mois, et à eux seuls donnent les trois quarts de la production totale de la Guyane française.

Au point de vue de la répartition par bassins, ceux de la Mana et de la rivière de Sinnamary sont de beaucoup les plus prospères; chacun d'eux fournit plus d'un tiers de la production totale.

ANNÉES.	NOMS DES BASSINS.						
	Maroni.	Oyapock.	Approuague	Roura.	Kourou.	Sinnamary.	Mana.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
1877	103,968	16,565	313,362	161,818	0,476	750,869	258,899
1878	111,077	21,915	261,729	143,149	0.763	742,289	435,483
1879	62,311	17.801	225,553	190,010	5,273	711.058	965,468
1880	10,307	14,840	149,281	145,498	4,630	786,226	758,807

L'Approuague, théâtre des premières explorations, s'épuise; le bassin du Sinnamary se maintient; celui de la Mana devient tous les jours plus productif.

Il est intéressant de voir l'influence des saisons sur la production d'or.

MOIS.	DÉSIGNATION DES ANNÉES.			
	1877	1878	1879	1880
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Janvier	101,310	99.451	132,414	173,143
Février	103,626	101.381	128,695	144,534
Mars	154,865	120,308	137,578	163.797
Avril	157,378	158,895	159,756	175,040
Mai	154,153	172.962	183,659	212,103
Juin	146,611	149.681	171,760	184.146
Juillet	167,963	189,294	161.019	155.496
Août	141 890	176,257	197,505	139,188
Septembre	154.924	119,632	215,586	152,261
Octobre	131,455	131,245	238,628	116,910
Novembre	123,678	126,182	239,044	121,382
Décembre	82,818	171,447	213,810	133,189

A la fin de la saison des pluies, le terrain est bien dépouillé, l'eau est abondante aussi bien dans les criques que dans les fleuves; les lavages sont faciles et les transports commodes. Le personnel est généralement au complet, et, malgré le départ d'un certain nombre d'hommes pour les prospections, la production atteint son maximum.

Vers la fin de la saison sèche, les maladies, les difficultés des transports ont pour effet de réduire le personnel des travailleurs, d'où un abaissement sensible du chiffre des produits. Enfin, pendant la saison des pluies, le nombre de journées de travail diminue beaucoup, et les retards occasionnés par les crues subites des cours d'eau deviennent plus fréquents.

Il ne faudrait cependant pas prendre les chiffres qui précèdent pour la représentation exacte de la production de l'or en Guyane. On admet en général que l'or volé et exporté clandestinement atteint à peu près le quart de la production, soit de 4 à 500 kilogrammes par an. Aussi longtemps que les procédés actuels resteront en vigueur, aussi longtemps qu'on emploiera des méthodes qui comportent la répartition du personnel sur un grand nombre de points, et des appareils élémentaires où tout se fait à la main, on devra faire la part du vol, sans qu'il soit possible, même

par une surveillance excessive, de faire cesser cet état de choses. Le vol est un fléau qui atteint également toutes les exploitations où l'on rencontre l'or natif visible. Pour la Guyane en particulier, la seule mesure efficace semble devoir résider dans une réglementation très précise du commerce de l'or, prévoyant des peines redoutables contre les délinquants, qu'une police spéciale, intéressée à la découverte des fraudes, serait chargée de signaler.

Les exploitants n'étant astreints en Guyane à aucune obligation relativement à la statistique des travaux, il est impossible d'avoir des renseignements, qui seraient si intéressants, sur la répartition de la main-d'œuvre.

A la Guyane française, ceux qui viennent aux placers s'occupent plus du présent que de l'avenir; ils n'y apportent que peu ou point de capitaux; ils viennent, au contraire, y chercher la fortune, et aspirent au moment où ils pourront aller en jouir dans un pays moins difficile. Les tendances jalouses et égoïstes y règnent plus que l'esprit d'association et d'entreprise. Absolument dépourvus de notions géologiques, bien que l'on trouve parmi eux quelques personnes instruites, les mineurs d'or n'ont malheureusement point reçu les conseils d'ingénieurs éclairés et versés dans la pratique des travaux et de l'art des mines. Aussi la Guyane, avec ses gisements de minéraux précieux et variés, qui ne le cèdent peut-être en rien à ceux du Venezuela, qui la domine au nord, et du Brésil auquel elle confine au sud, marche-t-elle encore bien loin derrière ces contrées comme richesse et comme développement commercial. En outre, depuis l'abolition de l'esclavage en 1848, l'industrie agricole y est complètement morte.

Cayenne, 1er décembre 1881.

NOTE

SUR

LE PLANIMÈTRE D'AMSLER

Par M. THIRÉ, ancien élève de l'École des mines de Paris, professeur à l'École des mines d'Ouro-Preto (Brésil).

On connaît l'ingénieux instrument, désigné sous le nom de planimètre d'Amsler, et qui est destiné à mesurer la surface limitée à une courbe tracée sur un dessin (*). Il se compose essentiellement (*fig.* 1, Pl. VIII) de deux branches OA, BAC, articulées en A, et d'une roulette C, dont l'axe est la branche BAC. Les extrémités O, B, des deux branches sont munies de pointes. Quand l'instrument est placé sur un dessin, ses trois points d'appui sont les pointes O, B et la roulette C. Les branches OA, BAC sont parallèles au plan du dessin; les pointes O et B lui sont perpendiculaires; le plan moyen de la roulette lui est aussi perpendiculaire. La pointe O est aiguë : on peut la fixer en l'enfonçant légèrement dans le dessin et même dans la planchette sur laquelle est collé le dessin; c'est le pôle du planimètre. La pointe B est une simple pointe sèche ou style, destinée à suivre le périmètre d'une figure tracée sur le dessin. Si, la pointe A restant fixe, la pointe B décrit une courbe fer-

(*) Les *Annales des mines* (6e série, tome XIX, 1871) ont publié une description très complète et une théorie de l'instrument, dues à M. Combes. Je renvoie à cette note de M. Combes pour la description détaillée de l'instrument.

mée, le nombre de tours et de fractions de tour dont aura tourné la roulette pendant cette opération donnera (à des constantes près) l'aire limitée par cette courbe. La théorie du planimètre consiste à établir ce résultat.

Les deux branches OA, BA, au lieu d'être dans un même plan, sont en réalité dans deux plans différents, parallèles au plan du dessin; l'articulation en A a lieu au moyen d'un axe perpendiculaire au plan du dessin. De cette facon, la branche BA, dans son mouvement, peut passer (au besoin) au-dessus de la branche plus courte AO.

On a établi déjà la théorie de cet instrument de bien des manières différentes : je me propose d'en présenter encore une démonstration, basée sur des calculs assez restreints.

Soient (*fig.* 2) :

O, la pointe du planimètre,
B, la pointe mobile,
OA, BAC, les deux branches du planimètre, articulées en A.

La roulette a son centre en C, à l'extrémité de la branche BAC; son plan est perpendiculaire à BAC qui lui sert d'axe.

Nous désignerons par

R, la longueur OA,
L, — AB,
l, — AC,
ρ, le rayon vecteur OB,
α, l'angle OAC.

R, L, l sont des constantes qui dépendent de l'instrument.

α et ρ sont deux éléments variables qui dépendent l'un de l'autre.

Dans le triangle OAB, on a

$$AB - AO < OB < AB + AO,$$

c'est-à-dire

$$L - R < \rho < L + R.$$

Il en résulte que si l'on décrit deux circonférences, du même centre O, avec les rayons (L — R) et (L + R), la pointe mobile B sera située nécessairement dans l'espace annulaire compris entre ces deux circonférences limites que je représente en $\lambda\lambda$ et $\lambda'\lambda'$. Pour que l'on puisse faire suivre à la pointe B un certain arc de courbe tracé sur le papier, il faut que cet arc soit tout entier contenu dans l'espace annulaire compris entre les deux cercles $\lambda\lambda$ et $\lambda'\lambda'$.

Imaginons que la branche OA reste fixe, et que la branche BAC tourne autour de l'articulation A. La pointe B décrira un cercle tangent aux cercles $\lambda\lambda$ et $\lambda'\lambda'$. Dans ce mouvement de la branche BAC, la roulette C roulera sans glisser sur le papier. Si la branche BAC tourne autour de A d'un angle ε, la roulette roulera d'un arc $l\varepsilon$. J'appellerai *cercles de roulement* tous les cercles qui, lorsqu'ils sont ainsi décrits par la pointe B, conduisent à un mouvement de roulement sans glissement de la roulette. Tous ces cercles de roulement ont le même rayon L. Leurs centres sont sur une circonférence décrite du centre O avec le rayon R. Ils ont pour enveloppe les circonférences $\lambda\lambda$ et $\lambda'\lambda'$. La *fig.* 3 représente un certain nombre de ces cercles. Leur ensemble couvre tout l'espace annulaire compris entre les circonférences $\lambda\lambda$ et $\lambda'\lambda'$ (*fig.* 4).

Quand la pointe B décrit un cercle de roulement, le point de contact de la roulette décrit sur le papier un cercle concentrique γ. A chaque cercle de roulement décrit par la pointe B correspond un cercle γ décrit sur le papier par le point de contact de la roulette. Il y a une infinité de cercles γ. Imaginons leurs trajectoires orthogonales. Quand le point de contact de la roulette décrit sur le papier une de ces trajectoires orthogonales, la pointe B décrit une courbe que j'appellerai *courbe de glissement*. Quand la pointe B décrit une courbe de glissement, la roulette glisse, sans rouler, sur le papier. Car, pour un élément d'une courbe de glissement, le point de contact de la roulette se déplace

sur le papier dans une direction perpendiculaire au plan de la roulette.

Soit OABC (*fig.* 5) une position quelconque du planimètre. Faisons décrire à la pointe B une courbe de glissement, et cherchons la tangente en B à cette courbe. Pour cela, cherchons le centre instantané de rotation de la branche BAC. Ce centre instantané sera le point d'intersection I du rayon OA et de la perpendiculaire CI à CAB tirée par le point C. En joignant IB, nous aurons en IB la normale en B à la courbe de glissement. BT, perpendiculaire à BI, est la tangente en B à cette courbe.

L'ensemble de toutes les courbes de glissement couvre tout l'espace annulaire compris entre les circonférences $\lambda\lambda$ et $\lambda'\lambda'$ (*fig.* 4.)

Cet espace annulaire peut être considéré comme recouvert d'un double réseau de lignes : les lignes d'un de ces réseaux sont les *cercles de roulement;* les lignes de l'autre réseau sont les *courbes de glissement.* Quand la pointe B décrit les premières, la roulette roule sans glisser sur le papier ; quand la pointe B décrit les secondes, la roulette glisse sans rouler, elle ne tourne pas autour de son axe.

Considérons une position quelconque OABC du planimètre (*fig.* 6). Par le point B traçons le cercle de roulement *rr* et la courbe de glissement *gg* qui correspondent à cette position du planimètre. Traçons un cercle de roulement *r'r'* infiniment voisin de *rr* et une courbe de glissement *g'g'* infiniment voisine de *gg*. Ces quatre courbes se coupent aux quatre points BB'D'D, qui sont les sommets d'un quadrilatère infiniment petit. Je vais faire parcourir à la pointe B du planimètre le périmètre de ce quadrilatère. J'établirai pour ce quadrilatère infiniment petit la théorie du planimètre. La théorie générale pour une courbe fermée quelconque parcourue par la pointe B s'en déduira presque immédiatement.

Soit :

dx l'arc infiniment petit BD,
δy l'arc infiniment petit BB',

dx et δy sont deux infiniment petits indépendants l'un de l'autre. Je désignerai au moyen de la caractéristique d les différentielles qui dépendent de dx, et au moyen de la carastéristique δ les différentielles qui dépendent de δy.

D'après cette convention, on aura

$$\text{arc } B'D' = dx + \delta\,(dx),$$
$$\text{arc } DD' = \delta y + d\,(\delta y).$$

Nous avons déjà posé

$$OA = R,$$
$$AB = L,$$
$$AC = l,$$
$$\text{angle } \widehat{OAC} = \alpha.$$

Quand la pointe B passe de B en D, l'angle α devient $\alpha + d\alpha$. Quand elle passe de B en B', l'angle α devient $\alpha + \delta\alpha$. L'angle α augmente de $d\alpha$ quand la pointe B parcourt l'arc BD; il augmente de $\delta\alpha$ quand la pointe parcourt l'arc BB'.

Faisons parcourir à la pointe le périmètre du quadrilatère infiniment petit BB'D'D dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, c'est-à-dire dans le sens BB'D'DB, et cherchons successivement, d'une part l'aire de ce quadrilatère, d'autre part l'arc dont aura tourné la roulette quand le périmètre du quadrilatère aura été parcouru.

L'aire du quadrilatère BB'D'D est un infiniment petit du second ordre, et on peut, en négligeant les infiniment petits d'ordre supérieur, considérer cette aire comme celle d'un parallélogramme dont la base est $dx = \mathrm{L}d\alpha$ et dont la hauteur est la projection de BB' sur AB. Or, quand la pointe B parcourt l'arc BB' $= \delta y$, l'articulation A parcourt un arc

$AA' = \delta s$ sur la circonférence décrite du centre O avec le rayon R. Quand la pointe B parcourt l'arc BB', la branche AB passe de la position AB à la position infiniment voisine A'B'. Or, on sait que si une droite de grandeur invariable prend dans son plan un déplacement infiniment petit, tous les points de la droite parcourent des chemins qui ont même projection sur la position initiale de la droite. Donc la projection de BB' sur AB est égale à la projection de AA' sur AB. Or, cette dernière projection est

$$\delta s . \sin \alpha.$$

Donc la hauteur du parallélogramme considéré plus haut est

$$\delta s . \sin \alpha.$$

Sa base dx est égale à $L d\alpha$. Donc, l'aire de ce parallélogramme est

$$L d\alpha \, \delta s \sin \alpha.$$

Cette expression représente (aux infiniment petits d'ordre supérieur près) l'aire du quadrilatère BB'D'D. Nous désignerons cette aire par ω. Nous aurons ainsi

$$\omega = L d\alpha \, \delta s \sin \alpha. \tag{1}$$

Passons maintenant à l'expression de l'arc dont a tourné la roulette quand la pointe B parcourt le périmètre de ce quadrilatère. Mais avant tout, il faut fixer par convention le sens dans lequel les arcs de rotation de la roulette seront positifs, et celui dans lequel ils seront négatifs. Nous compterons ces arcs positivement quand la rotation de la roulette aura lieu dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre pour celle des deux faces de la roulette qui est située, non pas du même côté que la branche CAB, mais du côté opposé ; les arcs seront comptés négativement quand la rotation aura lieu dans le sens contraire.

Quand la pointe B parcourt successivement les quatre côtés du quadrilatère, le roulement de la roulette est rigoureusement nul pour les deux côtés BB′ et DD′, qui appartiennent à des courbes de glissement. Cela résulte de la propriété de définition des courbes de glissement. Quand la pointe parcourt les deux côtés B′D′ et DB, qui appartiennent à des cercles de roulement, la roulette roule sans glisser. Quand la pointe parcourt l'arc DB, de D vers B, la roulette roule de

$$+\, l d\alpha. \tag{2}$$

Quand la pointe parcourt l'arc B′D′ de B′ vers D′, la roulette roule de

$$-\, l . d(\alpha + \delta\alpha). \tag{3}$$

En effet, l'arc B′D′ appartient à un cercle de centre A′ et de rayon L = AB. Or, quand AB vient en A′B′, α devient

$$\alpha + \delta\alpha.$$

L'angle au centre de l'arc B′D′ est l'accroissement que subit cet $(\alpha + \delta\alpha)$ quand on passe de la courbe gg à la courbe $g'g'$. C'est donc

$$d(\alpha + \delta\alpha).$$

Cet angle au centre est l'angle dont la branche tourne autour de A′ quand la pointe parcourt B′D′. A cet angle de rotation correspond un roulement de la roulette égal à $l.d(\alpha + \delta\alpha)$ en valeur absolue, et qui doit être pris avec le signe —, en vertu des conventions antérieures.

En résumé, en appelant z l'arc dont a roulé la roulette quand la pointe a parcouru le périmètre du quadrilatère, z est la somme de (2) et (3) et on a

$$z = l d\alpha - l . d(\alpha + \delta\alpha).$$

Or,

$$d(\alpha + \delta\alpha) = d\alpha + d(\delta\alpha).$$

Donc

$$z = -\, l.d(\delta\alpha). \tag{4}$$

Dans cette équation, $\delta\alpha$ est l'accroissement de α relatif au côté BB', $d(\delta\alpha)$ est l'accroissement de cet accroissement quand on passe du côté BB' au côté DD'.

Cherchons l'expression de $\delta\alpha$. Ensuite, nous la différencierons au moyen de la caractéristique d et nous porterons le résultat dans l'équation (4).

$\delta\alpha$ est l'accroissement de α quand le planimètre passe de la position OAB à la position OA'B'. Nous allons chercher, pour ce déplacement du planimètre, les déplacements angulaires des côtés de l'angle α. Nous en déduirons la variation $\delta\alpha$ de l'angle α. Pour avoir le déplacement angulaire du côté CA, prenons le centre instantané de rotation I de la branche CAB. Ce centre instantané est l'intersection du rayon AO et de la perpendiculaire à CAB menée par le point C. A venant en A', la rotation élémentaire autour de I est $\frac{AA'}{AI}$ ou $\frac{\delta s}{AI}$, car nous avons désigné AA' par δs. D'après le sens de la rotation autour de I, le déplacement angulaire

$$\frac{\delta s}{AI}$$

du côté CA de l'angle α tend à augmenter cet angle α.

Quant au déplacement angulaire du côté OA de l'angle α, il est représenté par l'angle AOA' que je désignerai par $\delta\theta$. Ce déplacement angulaire

$$\delta\theta$$

du côté OA de l'angle α tend à diminuer cet angle α. De ces déplacements angulaires des deux côtés de l'angle α et des sens de ces déplacements, on conclut que l'augmentation définitive $\delta\alpha$ de α est

$$\delta\alpha = \frac{\delta s}{AI} - \delta\theta.$$

Or

$$AI = \frac{l}{\cos\alpha},$$

$$\delta\theta = \frac{\delta s}{R}.$$

Donc

$$\delta\alpha = \frac{\delta s \cos\alpha}{l} - \frac{\delta s}{R},$$

ou

$$\delta\alpha = \delta s\left(\frac{\cos\alpha}{l} - \frac{1}{R}\right).$$

Prenons maintenant la différentielle de cette expression de $\delta\alpha$, au moyen de la caractéristique d. Quand on différencie au moyen de la caractéristique d, δs doit être considéré comme constant. On a donc

$$d(\delta\alpha) = -\delta s \frac{\sin\alpha.\, d\alpha}{l}.$$

Substituons cette valeur de $d(\delta\alpha)$ dans l'équation (4). Nous aurons

(5) $$z = \delta s.\, \sin\alpha.\, d\alpha.$$

Comparons les équations (1) et (5). De cette comparaison on conclut

(6) $$\omega = Lz.$$

Cette équation (6) est fondamentale. Elle donne la théorie du planimètre pour un quadrilatère infiniment petit limité à deux courbes de glissement infiniment voisines et à deux cercles de roulement infiniment voisins. L'aire de ce quadrilatère est égale à l'arc total de rotation de la roulette multiplié par la constante L (longueur du bras AB).

D'un quadrilatère infiniment petit on passe à un quadrilatère curviligne allongé formé (*fig.* 7) par deux cercles de roulement quelconques rr, $r_1 r_1$, et deux courbes de glissement infiniment voisines gg, $g'g'$. Il suffit pour cela de décomposer ce quadrilatère allongé en quadrilatères infi-

niment petits, à l'aide de cercles de roulement infiniment voisins $r'r'$, $r''r''$, $r'''r'''$,......... A chacun d'eux on peut appliquer la formule fondamentale

$$\omega = \mathrm{L}z.$$

En faisant la somme de toutes les équations obtenues en appliquant à tous cette formule fondamentale, on aura

$$\Sigma\omega = \mathrm{L}\Sigma z.$$

Appelons ω_1 la surface du quadrilatère allongé

$$\Sigma\omega = \omega_1.$$

Considérons Σz. C'est l'arc total de rotation de la roulette, quand la pointe parcourt successivement les périmètres complets des quadrilatères infiniment petits, dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre. Or, tous les côtés qui appartiennent à des cercles de roulement (à part le premier rr et le dernier $r_1 r_1$) sont parcourus deux fois et en sens inverse par la pointe, car chacun d'eux est commun à deux quadrilatères infiniment petits contigus. Les rotations de la roulette pour deux trajets égaux parcourus en sens inverse sont évidemment égales et contraires et se détruisent. Il est donc inutile, pour avoir Σz, de faire parcourir à la pointe les côtés qui séparent les uns des autres les quadrilatères infiniment petits successifs. Il suffit de lui faire parcourir les deux côtés relatifs aux courbes de glissement, et les deux côtés relatifs aux cercles de roulement extrêmes rr et $r_1 r_1$. Il suffit donc de faire parcourir à la pointe, dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, le périmètre complet du quadrilatère curviligne allongé; en appelant z_1 l'arc de roulement qui en résultera pour la roulette, nous aurons

$$\Sigma z = z_1.$$

Des trois dernières équations on tire

(7) $$\omega_1 = \mathrm{L}z_1.$$

La théorie est donc établie pour un quadrilatère curviligne allongé limité à deux courbes de glissement voisines et à deux cercles de roulement quelconques.

Passons maintenant à une courbe fermée quelconque. Nous savons qu'elle devra être contenue dans l'espace annulaire compris entre les cercles limites $\lambda\lambda$ et $\lambda'\lambda'$ (*fig.* 2). Il pourra se présenter deux cas (*fig.* 8). Dans le premier cas, la courbe fermée et le cercle $\lambda\lambda$ sont extérieurs l'un à l'autre; alors le pôle O est extérieur à la courbe fermée. Dans le second cas, la courbe fermée enveloppe complètement le cercle $\lambda\lambda$: alors le pôle O est à l'intérieur de la courbe fermée.

Examinons successivement ces deux cas.

1[er] CAS. *Le pôle est extérieur à la courbe fermée.* — Divisons la surface limitée par cette courbe (*fig.* 9) en tranches courbes infiniment minces au moyen de courbes de glissement infiniment voisines, telles que gg, $g'g'$. Soit $mnn'm'$ la tranche limitée à gg et $g'g'$. Par m menons l'arc mp de cercle de roulement. Par n' menons l'arc $n'q$ de cercle de roulement. Substituons à cette tranche le quadrilatère curviligne allongé $mqn'p$ limité à deux courbes de glissement voisines et à deux cercles de roulement. Si nous faisons la même chose pour toutes les tranches, nous aurons une série de quadrilatères, tels que $mqn'p$ à chacun desquels est applicable l'équation (7)

$$\omega_1 = Lz_1.$$

Appliquons aux quadrilatères des diverses tranches cette équation (7) et faisons la somme. Nous aurons

$$\Sigma\omega_1 = L\Sigma z_1.$$

Soit Ω la surface limitée à la courbe fermée. Ω ne diffère de $\Sigma\omega$ que par les aires infiniment petites du second

ordre des triangles, tels que *mm'p* et *nn'q*. Les tranches étant infiniment minces, on aura

$$\Sigma\omega_1 = \Omega.$$

Σz_1 est l'arc total de rotation de la roulette, quand la pointe parcourt successivement les périmètres complets des quadrilatères allongés tels que *mnqp*. Or, sans altérer Σz_1, nous pouvons, du chemin total parcouru par la pointe, ne conserver que ce qui appartient aux triangles tels que *mm'p* et *nn'q* : car cela revient à supprimer des arcs de courbes de glissement, arcs pour lesquels le roulement de la roulette est rigoureusement nul. Mais alors il ne restera plus à faire parcourir à la pointe que le périmètre extérieur de la surface totale formée par l'ensemble des quadrilatères tels que *mqn'p*. Dans ces conditions, les tranches étant infiniment minces, le roulement de la roulette sera le même que si la pointe parcourait le périmètre de la courbe fermée. Car, pour un déplacement élémentaire quelconque *m'm* de la pointe, le déplacement correspondant de la roulette est, en général, oblique au plan de cette roulette ; pour avoir le roulement de celle-ci, on décompose son déplacement élémentaire en deux déplacements composants, l'un parallèle au plan de la roulette, l'autre normal ; le premier déplacement composant représente le roulement de la roulette ; le second fait glisser la roulette sans qu'elle roule ; le premier déplacement fait parcourir à la pointe un élément d'un cercle de roulement ; le second déplacement lui fait parcourir un élément d'une courbe de glissement.

En appelant Z l'arc total de roulement de la roulette quand la pointe parcourt le périmètre de la courbe fermée, on a donc

$$\Sigma z_1 = Z.$$

Des trois dernières équations on tire

$$\Omega = lZ. \tag{8}$$

Donc, pour une courbe fermée ne contenant pas le pôle du planimètre à son intérieur, la surface limitée à la courbe est égale au produit de la constante L (longueur de AB) par l'arc dont tourne la roulette quand la pointe parcourt le périmètre complet de la courbe fermée.

2° CAS. *Le pôle est dans l'intérieur de la courbe fermée.* — Imaginons d'abord (*fig.* 10) deux courbes fermées $\mu\mu$ et $\nu\nu$ intérieures l'une à l'autre, comprenant dans leur intérieur le cercle $\lambda\lambda$ et le pôle O, et situées dans l'intérieur du cercle $\lambda'\lambda'$. Appliquons le mode de décomposition précédent à la surface comprise dans l'espace annulaire que laissent entre elles les deux courbes fermées $\mu\mu$ et $\nu\nu$. En appliquant à chaque élément de la décomposition la formule (7)

$$\omega_1 = Lz_1,$$

et en faisant la somme, on a

$$\Sigma\omega_1 = L\Sigma z_1.$$

Dans cette équation, le premier membre représente l'aire comprise entre les deux courbes. Au second membre, en supprimant dans Σz_1, les termes qui se détruisent, il ne reste dans Σz_1 que l'arc total dont tourne la roulette quand la pointe décrit successivement la courbe extérieure $\mu\mu$ dans le sens direct (sens du mouvement des aiguilles d'une montre) et la courbe intérieure $\nu\nu$ dans le sens inverse.

Maintenant à la courbe $\nu\nu$ substituons le cercle $\lambda\lambda$ (*fig.* 11). En vertu du résultat précédent, l'aire comprise entre la courbe fermée $\mu\mu$ et le cercle $\lambda\lambda$ est égale à L multiplié par l'arc total dont on aura tourné la roulette, quand la pointe aura successivement décrit la courbe $\mu\mu$ dans le sens direct et le cercle $\lambda\lambda$ dans le sens rétrograde. Écrivons ce résultat, en appelant Ω' la surface totale comprise dans l'intérieur de la courbe $\mu\mu$ et Z' l'arc dont tourne la rou-

lette quand la pointe décrit la courbe $\mu\mu$ dans le sens direct. Nous aurons

$$\Omega' - \pi(L - R)^2 = L[Z' + 2\pi(R + l)].$$

Au premier membre, $\pi(L - R)^2$ est la surface du cercle $\lambda\lambda$.

Au second membre, $2\pi(R + l)$ est l'arc dont tourne la roulette, quand la pointe décrit le cercle $\lambda\lambda$ dans le sens rétrograde. En simplifiant cette équation, elle devient

$$(9) \qquad \Omega' = LZ' + \pi(L^2 + R^2 + 2Ll).$$

Donc, quand le pôle est à l'intérieur de la courbe fermée, et que la pointe parcourant le périmètre complet dans le sens direct donne lieu à un arc de rotation Z', il faut ajouter au produit LZ' le terme constant $\pi(L^2 + R^2 + 2Ll)$ pour avoir la surface totale intérieure à cette courbe.

Le mode de décomposition adopté plus haut permettrait aisément de mesurer la surface d'un secteur limité à un arc de courbe quelconque AMB et à deux rayons vecteurs égaux OA, OB faisant l'angle θ (*fig.* 12). On placerait la pointe fixe en O, et on ferait parcourir à la pointe mobile l'arc AMB.

NOTE
SUR
LES ESSIEUX ET LES BANDAGES

Par M. WORMS DE ROMILLY, ingénieur des mines.

Les locomotives sont composées d'une série de pièces, dont les durées sont très différentes et qui sont remplacées successivement, de sorte qu'une locomotive aurait en quelque sorte une durée indéfinie si l'on n'était pas amené à faire disparaître les anciens types lorsqu'ils ne satisfont plus d'une manière assez complète aux exigences du trafic.

Les renseignements précis sur la durée des différents organes sont assez difficiles à obtenir.

Ayant eu l'occasion, grâce à l'obligeance des ingénieurs de la traction du chemin de fer du Nord, de réunir quelques cas documents sur les essieux et les bandages retirés du service pendant une période de cinq années, de 1876 à 1880, nous avons pensé qu'il serait intéressant d'en faire l'examen.

Nous n'avons pas cru devoir comparer, sauf dans quelques cas particuliers à titre d'exemple, la durée des pièces en tenant compte de leur provenance.

En dehors des questions assez délicates que pourrait soulever la publication des résultats, nous avons été retenu par la crainte d'être conduit à des conclusions tout à fait erronées.

Supposons, en effet, deux commandes d'essieux mises

en service l'une depuis peu, l'autre depuis longtemps. Le parcours des essieux avariés ou usés dans le courant d'une année sera nécessairement très faible pour la première commande, très fort pour la seconde.

Comparer les résultats donnés par ces deux séries, ce serait comparer les pièces défectueuses de l'une avec les meilleures pièces de l'autre.

Nous examinerons successivement les essieux et les bandanges.

Ces pièces peuvent être mises hors de service par suite de rupture ou de déformation ou par suite d'usure; il convient de distinguer ces deux natures d'avaries qui proviennent de causes tout à fait différentes.

Les efforts auxquels les essieux sont soumis sont de plusieurs sortes : 1° les réactions de la voie résultant de dénivellations brusques des rails et donnant seulement lieu à une force verticale; 2° les réactions des plaques de gardes résultant des chocs des wagons les uns contre les autres; les deux ordres d'effets sont indépendants du diamètre des roues.

Les chocs contre les saillies de la voie, comme les pointes d'aiguilles, donnent naissance à une force appliquée sur l'axe de l'essieu dans le plan de la roue, et à un couple dont le bras du levier est le rayon du cercle de roulement.

Ici le diamètre de la roue intervient.

Mais les passages sur les aiguilles ont lieu à petite vitesse et sont exceptionnels, de sorte que cet effet peut être négligé; quand l'éclissage est mal fait, il peut y avoir des chocs à l'extrémité de chaque rail, et alors l'influence du diamètre de la roue devient beaucoup plus grande.

Pour l'usure des fusées, on est au contraire absolument obligé de tenir compte des dimensions des roues, car, à charge égale, l'usure doit être proportionnelle au nombre de tours de roues.

La même observation s'applique à l'usure des bandages de roues.

Les bandages se rompent souvent.

Quand cet effet se produit sous l'influence d'une basse température, le degré de serrage du bandage sur la jante et l'épaisseur du bandage sont seuls à considérer; mais lorsque la rupture n'est pas due à cette cause, elle ne peut provenir que des chocs dont le nombre est proportionnel, toutes choses égales d'ailleurs, au parcours; il n'est pas évident à priori que par l'action d'une série de chocs égaux deux bandages dans les mêmes conditions de serrage et d'épaisseur exigeront pour se rompre des nombres de chocs proportionnels à leurs diamètres.

Au chemin de fer de l'Ouest, les bandages essayés sont tous soumis au même nombre de coups de marteau (16), et on ne fait varier le poids du marteau qu'avec la largeur et l'épaisseur du bandage. On admet que les pièces défectueuses se rompent presque toujours dans ces conditions; on a aussi constaté qu'un bandage arrivé à une certaine épaisseur limite ne se rompt jamais pendant la dernière période de son emploi; il résulte de là que les chances de rupture n'augmentent pas à mesure que le bandage diminue d'épaisseur au-dessous de cette limite (35 millimètres).

Le degré d'usure ne paraissant avoir qu'une influence assez secondaire sur les ruptures, nous croyons que, pour les bandages avariés, il suffit de comparer les parcours sans se préoccuper du diamètre de la roue.

Dans les tableaux suivants, nous désignerons par :

N	le nombre de pièces considérées;			
P_m	le parcours moyen en kilomètres des pièces considérées;			
P_{m}^{a}	—	maximum	—	—
P_{m}^{i}	—	minimum	—	—
D	le diamètre moyen de roulement de la roue neuve;			
d	—	moyen de la fusée à demi usée;		

n le nombre de tours correspondant au parcours P;
$D - 2e$ le diamètre de roulement du bandage arrivé à sa limite d'usure.

Nous exprimerons D, d, e en mètres.

Nous nous servirons encore de deux quantités proportionnelles à n, et qui peuvent se déduire plus facilement que n du parcours; ce sont les suivantes :

$$n_1 = \frac{P}{D - e}, \quad n' = \frac{P}{(D - e)\ 1000\,e}.$$

n' est proportionnel au nombre de tours de roues, qui correspond à une usure de 1 millimètre du bandage; et on aurait :

$$n = \frac{1000}{\pi}\,ln' = 318{,}32\,n'e,$$

Pour les essieux avariés, c'est-à-dire mis hors de service avant l'usure complète, nous distinguerons les essieux rompus, criqués et forcés, et, dans les tableaux, nous désignerons les entêtes de colonne par des lettres dont voici la signification :

A essieux rompus au tourillon;
B — au corps;
C — à la fusée;
D — à la manivelle.

Les mêmes lettres affectées d'un indice A'B'C'D' se rapportent aux essieux qui se sont criqués sans se rompre; le double indice A''B''C''D'' indique que l'essieu a été forcé; enfin $A_1 B_1 C_1 D_1$ correspondent à la somme des essieux rompus et criqués.

Essieux avariés.

Essieux avariés de wagons et de tenders. — Nous avons relevé 267 avaries d'essieux de wagons ou tender qui

sont groupées dans les deux tableaux suivants, dont le premier donne les nombres absolus de chaque espèce d'avaries, le second, la proportion de chaque espèce d'avarie, rapportée à 1000 essieux avariés.

Le tableau III indique en outre les parcours moyens, maximum et minimum, de chaque catégorie d'essieu.

Tableau I.

	N	B	C	B′	C′	C″
Essieux de tenders en fer.	61	»	15	»	4	42
— de wagons en fer.	202	6	114	16	1	»
— de tenders en acier. . . .	2	»	»	1	»	1
— de wagons en acier	2	»	2	»	»	»
— de tenders et wagons en fer.	263	6	129	16	70	42

Tableau II.

	N	B	C	B′	C′	C″
Essieux de tenders en fer.	1.000	»	245	»	65,0	690
— de wagons en fer.	1.000	30	565	79,0	326,0	»
— en fer (tenders et wagons).	1.000	15	405	39,5	195,5	345

Tableau III.

	N	P_m	P_{ma}	P_{mi}
Essieux de tenders en fer.	61	351.881	740.358	80.769
— de wagons en fer.	202	310,141	521.512	32.626
— de tenders en acier.	2	120.874	149.414	92.334
— de wagons en acier. . . .	2	455.468	484.133	426.803
— en fer (tenders et wagons).	263	319.822	740.358	32.626
— en acier (tenders et wagons).	4	288.171	484.133	92.334

Nous laisserons de côté les essieux en acier dont le nombre est trop faible pour que l'on puisse tirer des données qui les concernent aucune conclusion. Le faible parcours moyen de ces essieux ne prouve rien, attendu que, dans un lot, il peut toujours y avoir un petit nombre de pièces

défectueuses qui sont mises hors de service après un parcours bien inférieur au parcours moyen du lot entier.

Il est naturel d'assimiler les criques aux ruptures; car, le plus souvent, ce dernier effet ne se produit sans doute que par le développement d'une crique antérieure qui n'a pas été aperçue en temps utile.

Le tableau II peut alors se mettre sous la forme suivante :

Tableau IV.

	N	B_1	C_1	C''
Essieux de tenders en fer......	1.000	»	310,0	690
— de wagons en fer......	1.000	109,0	891,0	»
— en fer (tenders et wagons).	1.000	54,5	600,5	345

On voit que les essieux de wagons périssent tous par rupture, tandis que les essieux de tenders sont forcés. Il n'est pas douteux que cet effet doit être attribué à l'action des freins. Quand le frein n'agit que sur l'un des côtés de la roue, il est bien évident que l'effort exercé par le sabot tend à forcer la fusée; or ce cas est très fréquent; mais lors même qu'il existe un sabot de chaque côté de la roue, il doit arriver le plus souvent que les deux sabots ne sont pas également pressés sur la roue, ce qui conduit au même résultat.

Il semblerait légitime de conclure de là que les essieux de tender doivent résister moins longtemps que les autres.

Le tableau III montre qu'il n'en est pas ainsi; le parcours moyen des essieux de tender est au contraire supérieur de 13,50 p. 100 à celui des essieux de wagons.

Ce résultat est surprenant au premier abord, mais il est facile de s'en rendre compte. Les ruptures d'essieux de voitures sont très rares; presque tous les essieux qui figurent dans les tableaux précédents sont ceux des wagons à marchandises, qui reçoivent par l'intermédaire des plaques

de garde le contre-coup de tous les chocs; or ces chocs sont non seulement fréquents, mais encore très violents, tant dans les manœuvres de gares que dans les arrêts des trains; les attelages des trains de marchandises ne sont jamais serrés; de là, aux arrêts, une série de chocs dus aux réactions des ressorts. Tous les wagons, à cause du petit nombre des freins irrégulièrement répartis dans le train, viennent buter contre la locomotive, et ces mouvements n'ayant pas lieu d'une manière régulière, il en résulte des chocs partiels; dans les manœuvres des wagons, ces chocs sont encore plus violents. Il suffit pour s'en convaincre de relever les avaries de toute nature qui se produisent dans les gares par le fait de ces chocs.

Essieux avariés de machines. — Dans la période que nous considérons le nombre des avaries d'essieux de machines a été de 281, non compris un essieu coudé de machine en métal Bessemer, qui s'est rompu au tourillon après un parcours de 93.098 kilomètres.

Le tableau V donne le nombre absolu des avaries, et le tableau VI, la proportion de chaque espèce d'avaries rapportée à 1000 essieux avariés.

Tableau V.

	N	A	B	C	D	A'	B'	C'	D'	B''	C''
Essieux moteurs (*) coudés en acier.	30	13	»	1	»	13	»	»	2	1	»
— moteurs coudés en fer.	126	16	2	»	4	97	2	»	1	»	4
— moteurs droits en acier, couplés	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3
— moteurs droits en fer, couplés	18	»	1	2	»	»	»	1	»	»	14
— moteurs droits en fer, libres	29	»	4	1	»	»	2	16	»	»	6
— couplés droits en acier (non moteurs). . .	8	»	1	3	»	»	»	»	»	1	3
— couplés droits en fer (non moteurs). . . .	38	»	»	3	»	»	1	1	»	1	31
— libres droits en fer (supports)	29	»	»	»	»	»	»	1	»	1	27
— droits en acier (total).	11	»	1	3	»	»	»	»	»	1	5
— droits en fer (total)	114	»	5	6	»	»	3	19	»	2	79
— en fer ou acier coudés (total)	156	29	2	1	4	110	2	»	3	1	4
— en fer ou acier droits (total).	125	»	6	9	»	»	3	19	»	3	85
— de machines (fer ou acier, droits ou coudés)	281	29	8	10	4	110	5	19	3	4	89

(*) Nous n'appliquons la désignation de moteur qu'à l'essieu sur lequel agit directement la bielle reliée à la tige du piston.

Tableau VI.

	N	A	B	C	D	A'	B'	C'	D'	B''	C''
Essieux moteurs coudés en acier.	1.000	434	»	33	»	434	»	»	66	33	»
— moteurs coudés en fer	1.000	127	16	»	32	769	16	»	8	»	32
— moteurs droits en acier, couplés	1.000	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.000
— moteurs droits en fer, couplés.	1.000	»	56	111	»	»	»	56	»	»	777
— moteurs droits en fer, libres.	1.000	»	138	34	»	»	69	552	»	»	207
— couplés droits en acier (non moteurs). . .	1.000	»	125	375	»	»	»	»	»	125	375
— couplés droits en fer (non moteurs). . . .	1.000	»	»	79	»	»	26	26	»	26	843
— couplés droits en fer (supports)	1.000	»	»	»	»	»	»	34	»	34	932
— droits en acier (total).	1.000	»	91	273	»	»	»	»	»	91	[illegible]
— droits en fer (total)	1.000	»	44	53	»	»	26	167	»	17	693
— en fer ou acier coudés (total)	1.000	186	13	6	26	705	13	»	19	6	[illegible]
— en fer ou acier droits (total).	1.000	»	48	72	»	»	24	152	»	24	680
— de machines en général	1,000	103	28	36	14	391	18	68	11	14	[illegible]

Les nombres d'essieux en fer et en acier en service n'étant pas les mêmes, on ne peut déduire de ces tableaux aucune conclusion sur la préférence à accorder à l'une ou l'autre de ces matières premières, de sorte qu'il faut s'attacher principalement au tableau VI.

Les essieux coudés périssent presque tous par la rupture des tourillons; mais tandis que les criques sont en nombre égal à celui des ruptures pour les essieux d'acier, la proportion des criques est tout à fait prédominante pour les essieux en fer; c'est là un avantage considérable qui tient à ce que le fer est moins cassant, de sorte que la crique n'entraîne pas immédiatement la rupture. La crique s'agrandit sans doute avec une certaine lenteur jusqu'à devenir visible, et, plus la durée de la crique peut persister sans qu'il y ait rupture, plus il y a de chances pour que cette avarie soit remarquée.

Or les ruptures peuvent causer des accidents graves; bien que cela ait rarement lieu, il y a un intérêt majeur à prévenir les ruptures; nous pouvons donc conclure de là que pour les essieux coudés, la préférence paraît, au moins jusqu'à présent, devoir être accordée au fer sur l'acier.

Passons maintenant aux essieux droits. Les essieux de support en fer avariés sont tous ou presque tous, 932 sur 1.000, forcés à la fusée; ces essieux ne sont, en effet, soumis qu'à l'action des plaques de garde.

Quand l'essieu droit est moteur sans être couplé, ce sont les criques à la fusée qui dominent; l'effet de la puissance motrice tend à produire la rupture; mais quand l'essieu est accouplé sans être moteur, ou à la fois moteur et accouplé, il est en général forcé.

On peut expliquer ce fait par cette considération que l'action de la vapeur est plus intense sur l'essieu libre moteur; les patinages sont plus fréquents dans ce cas; la masse à mettre en mouvement étant plus faible, les déplacements ou plutôt les secousses sont plus brusques.

En assimilant les criques aux ruptures, le tableau VI donne les résultats suivants :

Tableau VII.

	N	A_1	B_1	C_1	D_1	B''	C''
Essieux moteurs coudés en acier.	1.000	868	»	33	66	33	»
— moteurs coudés en fer.	1 000	896	32	»	40	»	32
— moteurs droits en fer, couplés . .	1.000	»	56	167	»	»	777
— moteurs droits en fer, libres . . .	1.000	»	207	586	»	»	207
— couplés droits en acier.	1.000	»	125	375	»	125	375
— couplés droits en fer.	1 000	»	26	105	»	26	843
— libres droits en fer.	1.000	»	»	34	»	34	932
— droits en acier	1.000	»	91	273	»	91	545
— droits en fer.	1.000	»	70	220	»	17	693
— en fer ou acier coudés	1.000	891	26	6	45	6	26
— en fer ou acier droits	1.000	»	72	224	»	24	680
— de machines quelconques	1.000	494	45	104	25	14	317

Ce tableau montre nettement que les essieux coudés périssent tous par rupture complète ou partielle, que les essieux droits se forcent le plus souvent à la fusée et que plus rarement ces derniers essieux se rompent au même endroit.

Le nombre des avaries subies par les essieux en acier est trop faible pour qu'il soit possible d'en déduire aucune conséquence précise, ni de les comparer aux avaries des essieux en fer.

Examinons maintenant les parcours des essieux :

Tableau VIII.

		N	P_m	P_{ma}	P_{mi}
Essieux coudés de machines.	en acier.	30	158.988	520.912	8.570
	en fer	126	241.218	760.592	66 454
Essieux droits de machines à roues indépendantes. .	moteurs en fer.	6	212.592	468.669	15.707
	supports en fer.	21	255.089	738.415	58.062
Essieux droits de machines à roues accouplées. . . .	moteurs en fer.	18	254.153	582.580	55.967
	accouplés en fer	38	288.354	567.801	55.967
	supports en fer.	6	257.043	429.456	2.616
Essieux droits de machines à roues accouplées. . . .	moteurs en acier. . . .	3	29.914	46.146	21.698
	accouplés en acier. . .	8	137.655	723.032	13.648

L'avantage paraît ici encore rester aux essieux en fer et les conclusions fournies par les tableaux VI et VIII concordent. Dans les essieux coudés, la supériorité du fer est bien évidente.

Pour les essieux droits, on voit que le parcours moyen est minimum pour les essieux moteurs indépendants ; puis viennent les essieux libres de support et enfin les essieux accouplés non moteurs. Il est assez remarquable que le parcours moyen des essieux coudés en fer est supérieur à celui des essieux moteurs droits libres et à peine inférieur à celui des essieux moteurs accouplés. Le seul argument à faire valoir en faveur des essieux droits est que ces essieux sont mis hors de service par déformation, c'est-à-dire par une avarie qui ne présente aucun danger, tandis que les essieux coudés se rompent ; mais encore faut-il reconnaître que la rupture ayant lieu le plus souvent au tourillon, c'est-à-dire dans une partie facile à vérifier, on s'aperçoit 9 fois sur 11 de l'existence d'une crique avant que la rupture ne se produise.

Nous avons trouvé (tableau III) pour les essieux de tenders et de wagons en fer des parcours moyens plus élevés que pour les essieux de support des machines 352.000 et 310.000 au lieu de 255.000 et 257.000.

On ne peut guère attribuer cet effet qu'à la plus grande charge des roues de machines.

Il nous reste à examiner si la durée d'un essieu mis hors de service par suite d'avarie est sensiblement différente suivant sa provenance. Nous avons déjà exposé pourquoi les conclusions auxquelles conduit cet examen sont très discutables ; aussi avons-nous désigné dans le tableau suivant et dans les tableaux analogues les usines où les pièces ont été fabriquées par les lettres *u*A, *u*B, etc.

Tableau IX.

PROVENANCE.	ESSIEUX DROITS de machines en fer.		ESSIEUX COUDÉS de machines en acier.	
	N	P_m'	N	P_m
uA	42	347.084	5	130.549
uB	46	221.666	15	152 861
uC	6	202.882	3	127.308
uD	»	»	1	456.632
uE	8	423.238	3	130.524

Les différences sont très notables pour les essieux droits en fer; les parcours sont, au contraire, sensiblement égaux dans le cas des essieux coudés, sauf pour l'usine uD, dont les produits donnent d'ailleurs, en général, des résultats remarquables.

Essieux usés.

Pour se rendre compte de la durée des essieux usés, on ne peut plus, comme nous l'avons déjà indiqué, se contenter de comparer les parcours kilométriques.

Les essieux usés sont retirés du service sur le chemin de fer du Nord quand leur diamètre primitif a diminué de 10 millimètres; à diamètre égal de la fusée, l'usure est évidemment proportionnelle au nombre de tours; nous devons donc comparer le nombre de tours de roues ou des nombres qui leur sont proportionnels; nous prendrons pour plus de simplicité le quotient n_1 du parcours exprimé en kilomètres par le diamètre moyen de roulement exprimé en mètres.

Essieux usés de machines et de tenders. — Dans la période que nous considérons aucun essieu d'acier n'est arrivé à sa limite d'usure; nous n'aurons donc à parler que des essieux en fer.

Tableau X.

VÉHICULES.	ESSIEUX.	N	n_1
Machines.	Essieux moteurs droits.	5	99.360
—	— moteurs droits libres.	9	144.511
—	— moteurs droits accouplés. . .	28	234.735
—	— moteurs coudés accouplés. . .	3	220.366
—	— droits accouplés non moteurs.	45	223.955
—	— de supports libres	63	337.460
Machines ou tenders.	— de supports libres	51	350.725
Tenders.	— de supports libres	56	312.125

La première ligne comprend un petit nombre d'essieux appartenant à des locomotives qui ont été modifiées par l'installation de l'accouplement, de sorte qu'il ne nous a pas été possible de répartir ces 5 essieux d'une manière sûre dans les deux catégories suivantes : une observation semblable s'applique aux essieux de l'avant-dernière ligne, qui ont été placés tantôt sous des tenders, tantôt sous des machines.

Si on laisse de côté ces deux catégories, douteuses en quelque sorte, on voit d'abord apparaître l'influence de la liberté des roues motrices qui a pour effet, à cause de la fréquence des patinages, d'user rapidement les fusées.

Les essieux accouplés, qu'ils soient moteurs ou non, droits ou coudés, ont un parcours n_1 sensiblement égal; viennent ensuite les essieux de supports des tenders sur lesquels agissent les freins, et enfin les essieux de supports libres des machines, qui résistent le plus longtemps.

Les diamètres moyens des fusées des essieux varient de 0.090 à 0.160 ; mais l'influence de ce diamètre est assez difficile à déterminer. Pour les tenders, nous avons, en désignant par d le diamètre de la fusée, les données suivantes :

Tableau XI.

	N	d	n_1
Tenders 51 à 121	38	0,90 à 0,100	156.868
— de Crampton	12	0,125	692.083
— 3.261 à 3.268.	6	0,100	533.500

L'influence du diamètre paraît ici très nette; mais pour les essieux moteurs droits accouplés, il n'en est pas de même.

Tableau XII.

	N	d	n_1
Machines 51 à 121.	18	0,160	258.333
— 3.201 à 3.264.	7	0,160	181.571
— 297 à 300.	2	0,145	288.500

Il nous a été également impossible d'établir une correspondance entre les parcours et les charges des essieux, probablement parce que le diamètre des fusées est, en général, suffisant pour que l'importance de la charge soit sans influence. Ainsi, dans le cas des tenders, les charges par essieu sont dans les trois cas que nous avons cités de 7.500, 10.100, 8.400, c'est-à-dire qu'elles varient dans le même sens que n_1.

Le tableau XIII donne les parcours maxima et minima des essieux.

Tableau XIII.

VÉHICULES.	ESSIEUX.	P_{mi}	P_{ma}
Machines.	Essieux moteurs droits.	128.849	202.704
—	— moteurs droits libres.	133.634	442.974
—	— moteurs droits accouplés. . .	77.013	661.232
—	— moteurs coudés accouplés . .	145.706	270.628
—	— droits accouplés non moteurs.	93.660	598.673
—	— de supports libres	117.109	801.312
Machines ou tenders.	— de supports libres	111.607	525.050
Tenders.	— de supports libres	83.923	1.025.354

Nous devons signaler les parcours considérables des essieux Crampton qui figurent dans le tableau suivant :

Tableau XIV.

	N	d	P_m	n_1	$D - e$
Moteurs.	1	0,145	442.974	194.500	2.279
Supports avant.	3	0,145	695.044	525 000	1.323
Tenders.	12	0,125	821.610	692.083	1.187

Le mode de fabrication a une très grande influence sur la durée des essieux qui arrivent à leur limite d'épreuve comme le montrent les quelques exemples que nous donnons ici :

Tableau XV.

VÉHICULES.	ESSIEUX.	ORIGINE.	N	n_1
Machines.	Essieux moteurs droits libres. . .	u A	2	179.200
—	— — . . .	u B	5	122.000
—	Essieux moteurs droits accouplés.	u A	8	319.000
—	— — .	u B	8	170.500
—	— — .	u F	2	342.500
—	Essieux de supports libres . . .	u A	22	322.287
—	— —	u B	22	244.145
—	— —	u H	9	447.500
Machines et tenders.	Essieux de supports libres. . . .	u A	43	365.000
— — .	— —	u B	4	172.500
Tenders	Essieux de supports libres. . . .	u A	8	208.700
—	— — . . .	u B	29	142.300

Les produits de l'usine *u*A sont notablement supérieurs à ceux de l'usine *u*B.

Les usines *u*F et *u*H ont donné des produits encore meilleurs que ceux de l'usine *u*A.

Bandages avariés.

Les bandages de roues périssent par rupture, par écrasement, par aplatissement ou par usure. Nous examinerons d'abord les bandages avariés, c'est-à-dire mis hors de service avant usure complète.

Nous n'avons pu nous procurer de renseignements complets au sujet des bandages des wagons en fer. On comprend, en effet, qu'il est presque impossible d'établir le parcours des bandages de cette nature à cause du nombre considérable et toujours croissant des véhicules qui en sont munis.

Dans les tableaux suivants nous désignerons par P_mR, P_mE, P_mA les parcours moyens des bandages rompus, écrasés ou aplatis.

Le tableau XVI donne le parcours moyen des bandages sans tenir compte de la nature de l'avarie.

Tableau XVI.

BANDAGES.	N	$P_m R$	$P_m E$	$P_m A$	P_{ma}	P_{mi}
Bandages de machines en acier Bessemer	2	»	7.089	»	7.371	6.807
	75	79.331	»	»	188.528	16
Bandages de machines en acier fondu	3	»	»	31.593	35 815	25.556
	1	»	56.157	»	56.157	56.157
	56	44.031	»	»	117.372	3.343
Bandages de machines en fer sans soudure	36	»	25.315	»	39.694	4.846
	3	34.864	»	»	39.130	29.200
Bandages de tenders en acier Bessemer	1	»	»	39.269	39.269	39.269
	43	55.301	»	»	191.825	3.605
Bandages de tenders en acier. . Martin	1	45 385	»	»	45.385	45.385
Bandages de tenders en acier. . Siemens	4	62.494	»	»	86.626	23.768
Bandages de tenders en acier. . Sheffield	2	70.811	»	»	94.797	46.826
Bandages de tenders en acier. . fondu	28	37.803	»	»	68.678	3.168
Bandages de tenders en fer sans soudure	2	»	»	35.390	36.151	34.630
	210	»	25.056	»	39.783	4.304
	16	34.765	»	»	45.264	12.528
Bandages de wagons en acier. Bessemer	17 (*)	74 299	»	»	158.000	5.000
Bandages de wagons en acier. fondu	14	101.466	»	»	188.661	4.900

(*) Non compris deux bandages en acier fondu dont nous ne connaissons pas les parcours.

Comme cela était facile à prévoir, les bandages en fer qui sont hors de service avant leur complète usure sont écrasés; ceux en acier, au contraire, se brisent. Les parcours moyens des bandages de machines en acier Bessemer sont bien supérieurs aux parcours des bandages en acier fondu, 79.000 au lieu de 44.000.

Pour les tenders, la différence existe dans le même sens, quoique moins accusée, 55.000 d'une part et 38.000 de l'autre.

Quant aux autres natures d'acier, le nombre des bandages avariés est trop faible pour que l'on puisse tirer aucune conclusion des données du tableau.

Pour les wagons, le parcours des bandages en acier Bessemer est de 75.000 à peu près comme pour les machines, mais les bandages en acier fondu ont un parcours plus considérable, 101.000.

L'infériorité des bandages de tender tient évidemment à l'action des freins. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que,

les roues de machines ayant un beaucoup plus grand diamètre que les roues de wagons, cette différence peut avoir une influence, bien qu'il soit assez difficile de la préciser.

Pour les tenders, c'est-à-dire pour les roues munies de freins, l'acier Bessemer a donné des résultats plus satisfaisants que le fer et même que l'acier fondu, puisque les parcours moyens ont été de 54.840, 25.825, 37.803. Ces chiffres ne se rapportant qu'aux essieux avariés, il serait possible que les résultats fussent différents lorsqu'on considère les bandages qui parviennent à leur limite d'usure; nous verrons plus loin que pour les roues de tenders, les avaries et les usures conduisent à la même conclusion.

Pour les wagons, l'acier fondu donne, au contraire, un parcours supérieur à l'acier Bessemer. Mais à mesure que l'usage des freins se généralise, cet avantage doit disparaître.

Nous voyons donc que pour les bandages de machines et de tenders l'acier Bessemer est préférable; pour les roues de wagons, la supériorité de l'acier fondu ne paraît due qu'à l'absence de freins.

Ces résultats sont bien nets sur le tableau suivant dans lequel nous avons laissé de côté les aciers Siemens, Martin et Sheffield, pour lesquels nous n'avons qu'un nombre trop faible d'observations.

Tableau XVII.

	N	P_m	P_{ma}	P_{mi}
Bandages de machines en acier Bessemer.	77	77.455	188.528	16
— — fondu. . .	60	43.612	117.372	3.343
Bandages de machines en fer.	39	26.050	39.694	4.846
Bandages de tenders en acier Bessemer. . .	44	54.840	191.825	3.605
— en acier fondu.	28	37.803	68.678	3.168
— en fer.	228	25.825	45.264	4.304
Bandages de wagons en acier Bessemer . .	17	74.299	158.000	5.000
— en acier fondu	14	101.466	188.661	4.900
— en fer	687	»	»	»

Nous donnerons encore ici un exemple de l'influence de la provenance sur la nature des produits.

Les nombres suivants se rapportent aux bandages de tenders en fer qui se sont écrasés et aux bandages en fer Bessemer qui se sont rompus. Nous indiquerons seulement le parcours moyen; le diamètre moyen de ces roues différant peu de 1 mètre, la valeur de n, correspondante, différerait elle-même très peu de celle de P_m.

Tableau XVIII.

PROVENANCE.	FER SANS SOUDURE.		ACIER BESSEMER.	
	N	P_m	N	P_m
*A	116	27.565	»	»
*K	30	26.778	9	49.420
*C	54	23.122	3	55.432
*G	9	18.022	»	»
*D	»	»	10	85.060
*E	»	»	9	28.265

Bandages usés.

Les bandages qui ont pu arriver à leur limite d'usure sont beaucoup plus nombreux que les bandages avariés. L'usure doit être évidemment inversement proportionnelle au diamètre de roulement. Le parcours total du bandage doit être par suite proportionnel à ce diamètre et à l'épaisseur de métal qui peut disparaître avant la mise au rebut. Les rafraîchissages enlèvent, il est vrai, une épaisseur variable suivant la nature des déformations du profil, qui les nécessitent; mais il est impossible de tenir compte de ce dernier élément.

Nous avons réuni dans une même catégorie tous les bandages de même nature de métal et soumis aux mêmes efforts, quel que soit leur diamètre. Or, il y a deux manières de prendre une moyenne. Supposons, en effet,

qu'une catégorie comprenne N_1 bandages de diamètre D_1, d'épaisseur e_1 (*), et de parcours moyen P_1 soient N_2, D_2, e_2, P_2; N_3, D_3, e_3, P_3 les nombres correspondant à deux autres séries de bandages.

On aura pour les valeurs de n' dont nous avons indiqué la signification au commencement de cette note :

$$n'_1 = \frac{0{,}001\, P_1}{(D_1 - e_1)e_1},$$
$$n'_2 = \frac{0{,}001\, P_2}{(D_2 - e_2)e_2},$$
$$n'_3 = \frac{0{,}001\, P_3}{(D_3 - e_3)e_3},$$

On peut prendre pour la moyenne n' l'une des deux quantités

$$(a) \qquad n'_a = \frac{N_1 n'_1 + N_2 n'_2 + N_3 n'_3}{N_1 + N_2 + N_3},$$
$$(b) \qquad n'_b = \frac{n'_1 + n'_2 + n'_3}{3}.$$

Ces deux valeurs ne seront les mêmes, N_1, N_2, N_3 étant quelconques, que si n'_1, n'_2, n'_3 sont égaux, ce qui n'a pas lieu généralement.

Si les nombres de bandages considérés sont à peu près égaux, les deux valeurs de n' différeront peu l'une de l'autre; mais si N_1 par exemple est très faible par rapport à N_2 et à N_3, la valeur correspondante de n'_1 n'offre que peu de garanties d'exactitude, parce que les bandages N_1 peuvent être d'une nature exceptionnelle; dans ce cas, il est peut-être préférable de prendre pour n' la valeur déduite de la première formule, ou l'influence de n'_1 sera moins sensible.

Du reste nous avons calculé les valeurs de n' par les

(*) Nous avons dit que e désigne la moitié de l'épaisseur dont on peut diminuer le diamètre du bandage avant d'arriver à la limite d'usure.

deux méthodes ; le tableau XIX correspond à la première formule, le tableau XX à la seconde.

Dans le calcul des éléments de ce dernier tableau nous n'avons pas tenu compte de quelques bandages à parcours extrêmement faibles, dus soit à des accidents, soit à des défauts de fabrication, et qui auraient évidemment faussé les résultats, puisque l'on prend la moyenne sans tenir compte du nombre de pièces de chaque catégorie.

Ces omissions volontaires sont du reste indiquées en note à la fin du tableau.

Pour abréger, nous adopterons les notations suivantes :

- **RML** roues motriées libres ;
- **RMA** roues de machines accouplées ;
- **RS** roues de support de machines non accouplées avec les roues motrices ;
- **RT** roues de tenders ;
- **RST** roues de support qui sont mises indifféremment sous les machines ou sous les tenders et pour lesquelles il nous a été impossible de séparer les parcours accomplis sous les tenders de ceux accomplis sous les machines.

Tableau XIX.

	FER.		ACIER fondu.		ACIER puddlé.		ACIER Bessemer.		ACIER Martin.		ACIER naturel.		ACIER Siemens.	
	N	n'_a	N	n'_a	N	n'_a	N	n'_a	N	n'_a	N	n'_a	N	n'_a
ML	70	1.431	18	3.235	»	»	41	1.937	4	907	18	2 029	6	2.021
IA	276	2.513	2.086	2.984	4	3.005	4.254	2 689	598	2 176	39	2 574	79	2.357
. . . .	1 442	1.450	106	4 638	4	3 925	205	3.882	26	3.077	156	2.200	14	2.632
T.	314	2 355	246	2.743	107	2.509	852	3 234	437	2 817	2	3.017	117	2.980
. . . .	1.085	1.635	204	2 629	6	1 939	509	3.078	202	2 863	25	2.200	53	2.900
yenne	3.187	1 694	2 660	3 002	121	2.543	5.861	3.115	1.267	2 521	240	2 255	269	2.742
(avant)	63	2 318	58	5.145	»	»	59	3 828	10	2.800	»	»	14	2.632
(milieu).	440	1.634	»	»	»	»	28	3.497	6	4.158	47	1.963	»	»

Tableau XX.

	FER.		ACIER fondu.		ACIER puddlé.		ACIER Bessemer.		ACIER Martin.		ACIER naturel.		ACIER Siemens.	
	N	n'_b	N	n'_b	N	n'_b	N	n'_b	N	n'_b	N	n'_b	N	n'_b
RML.	2	1 485	1	3.235	»	»	2	1.995 [3]	»	» [4]	1	2.029	2	2.707 [5]
RMA.	5	2.304	8	3.378	1	3.005	9	2 800	9	2.385	2	2 541	7	2.378 [6]
RS.	4	1.762 [1]	4	3.864	1	3.925	5	3 813	3	3.221	2	2.133	1	2.632
RST.	3	2.300	3	2.651	2	2 469	3	3.064	4	2.763	1	3.047	3	2.741
RT.	4	1.678	3	2.869 [2]	2	1.838	4	2.879	2	3.027	1	2.900	1	2.900
Moyenne . . .	5	1.906 [1]	5	3.199 [2]	4	2.809	5	2.910 [3]	5	2 849 [4]	5	2 384	5	[5] 2.671 [6]
RS (avant) . .	2	2 347 [1]	2	3.484	»	»	2	3 820	1	2.800	»	»	1	2.632
RS (milieu). .	1	1.634	»	»	»	»	1	3.498	1	4.158	1	1.963	»	»

1 Sans tenir compte d'un bandage pour lequel $n' = 565$.
2 — de deux bandages pour lesquels $n' = 953$.
3 — de deux — $n' = 815$.
4 — de quatre — $n' = 907$.
5 — de deux — $n' = 638$.
6 — de quatre — $n' = 640$.
Les chiffres portés dans les colonnes N indiquent le nombre des espèces différentes de bandages.

Si on fait la moyenne de chaque ligne horizontale on trouve les résultats suivants, en prenant les moyennes de chaque ligne toujours suivant la même règle; n'_a est la moyenne en tenant compte séparément de tous les bandages, n'_b est la moyenne des valeurs correspondant à chaque série de bandages ou des chiffres inscrits dans le tableau XX.

Tableau XXI.

BANDAGES.	N	n'_b	n'_a
RML.	157	2.292	1.851
RT	2.084	2 481	2.244
RMA	7.336	2.684	2.721
RST	2.075	2.715	2.903
RS	1.953	3.050	1.973

Pour se rendre compte de l'influence de la nature des roues sur l'usure des bandages, il vaut mieux s'attacher

aux valeurs de n'_b qu'à celles de n'_a; par exemple, pour les roues motrices libres et pour les roues de support de machines, les quantités n'_a sont très faibles parce que le nombre des bandages en fer qui ont un faible parcours est très grand et représente dans un cas les 63 p. 100 et dans l'autre les 74 p. 100 du nombre total des bandages.

L'action du patinage sur les roues motrices, celle du frein sur les roues de tender, sont très sensibles.

Les roues accouplées viennent ensuite; puis les roues de support R S T qui sont intermédiaires, comme on devait s'y attendre, entre les roues de support de tenders et celles de machines, et enfin les roues de support de machines qui ont le parcours le plus considérable.

Les tableaux XIX et XX montrent que pour le fer et l'acier Bessemer les roues d'avant ont un parcours supérieur aux roues du milieu; le contraire aurait lieu pour l'acier fondu Martin; dans ce dernier cas, les roues d'avant appartiennent aux machines 51 à 121 et ont une charge de 8,500 à 9,000 kilog., tandis que les roues de milieu appartiennent à des machines Crampton et n'ont qu'une charge de 6,700 kilog. En outre le nombre des bandages est très faible, de sorte que des causes étrangères ont pu intervenir pour modifier les résultats.

Si nous examinons maintenant l'influence de la nature du métal nous obtenons les résultats suivants :

Tableau XXII.

	N	n'_b	n'_a
Fer.	3.187	1.906	1.694
Acier naturel.	240	2.384	2.255
— Siemens	269	2.674	2.742
— puddlé.	121	2.809	2.543
— Martin	1.267	2.849	2.521
— Bessemer.	5.861	2.910	3.115
— fondu.	2.660	3.199	3.002

Il est bon de faire une réserve au sujet des aciers naturel,

Siemens et puddlé, qui ne correspondent qu'à un nombre très limité de bandages. L'infériorité du fer, la supériorité de l'acier fondu et de l'acier Bessemer sont bien évidentes.

Si nous limitons la comparaison aux matières premières qui ont été les plus employées et que nous prenions pour unité la valeur de *n'* correspondant aux roues de support des machines et à l'acier fondu, nous tirons du tableau XVII les résultats suivants :

Tableau XXIII.

MÉTAL.	RML	RS	RT
Fer	0,309	0,312	0,352
Acier fondu	0,698	1,000	0,567
— Bessemer	0,417	0,837	0,664
— fondu Martin	»	0,663	0,618

L'acier fondu paraît donc mieux résister que l'acier Bessemer pour les roues motrices libres et pour les roues de support ; il paraît au contraire donner des résultats moins avantageux avec les roues de tenders ; cette particularité ne peut être attribuée qu'à l'action des freins ; il est possible que par l'effet du frottement l'acier fondu se détrempe plus facilement que l'acier Bessemer.

L'emploi des freins devenant de plus en plus général, on peut donc admettre que les bandages des roues de voiture doivent être faits de préférence en acier Bessemer.

Nous n'avons pas pu dégager nettement l'influence de la charge sur les bandages. Dans le cas des roues motrices libres les valeurs de *n'* correspondant à des charges d'essieux de $12^t.6$ et $10^t.6$ sont de 1312 et 1681 pour les bandages en fer ; mais la même relation ne se retrouve plus dans le cas des roues motrices accouplées, de sorte que l'on doit supposer que la largeur et l'épaisseur des bandages sont en général suffisantes pour que l'influence des charges soit à peu près nulle sur la durée des bandages de machines

et de tenders. On doit d'ailleurs remarquer que si la charge est trop forte eu égard à la dureté du fer, le bandage périt par écrasement et non par usure. Les bandages qui ont subi une altération de ce genre figurent par conséquent avec les bandages avariés.

Dans le calcul de n', nous avons tenu compte du diamètre des bandages; il semble donc que les variations de n' pour une même catégorie de bandages doivent être indépendantes du diamètre, à moins que le degré de courbure n'influe sur l'usure.

Pour examiner cette question nous avons dressé le tableau XXIV, dans lequel sont réunies les valeurs de n' correspondant aux catégories de bandages pour lesquelles on a un nombre suffisant d'observations à différents diamètres.

Tableau XXIV.

DIAMÈTRE moyen de roulement.	FER.				ACIER fondu.			ACIER Bessemer.		
	RML	RMA	RS	RT	RMA	RS	RT	RMA	RS	RT
2,17875	1.312	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2,07875	»	»	»	»	3.440	»	»	3 411	»	»
1,82375	1 658	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1,7725	»	1.851	»	»	4 629	»	»	3.353	»	»
1,7125	»	2.474	»	»	4.000	»	»	2 874	»	»
1,6225	»	»	»	»	3.492	»	»	3,121	»	»
1,39925	»	2 711	»	»	3.458	»	»	2,829	»	»
1,32525	»	»	»	»	»	5.268	»	»	4 333	»
1,2775	»	»	»	»	2 634	»	»	2.667	»	»
1,2625	»	»	»	»	»	»	»	2 019	»	»
1,23225	»	2.775	»	»	2.824	»	»	2.512	»	»
1,18675	»	»	1.634 1.305	1.623	»	4.764	3.123	»	3.498 4.224	»
1,178	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3 009
1,0675	»	»	»	»	»	3.723	»	»	3.701	»
1,058	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2.089
1,05125	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1,03425	»	1.711	»	»	2.548	»	»	2.413	»	»
1,02825	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1,00775	»	»	2.347	»	»	»	»	»	3.307	»
0,97925	»	»	»	2.151	»	»	2.616	»	»	3.182

Pour rendre l'influence du diamètre plus sensible, nous avons reproduit ces données dans un tableau graphique dont les abscisses représentent les diamètres et les ordonnées les parcours ou du moins les valeurs de *n'* qui leur correspondent Pl. VIII, *fig.* 13 à 16.

Pour les roues de tender en acier Bessemer la valeur de *n'* est très faible pour le diamètre de $1^m,058$; mais ces roues offrent une particularité; la valeur de *e*, c'est-à-dire l'épaisseur de métal qui peut être usée avant la mise au rebut, est de 30 p. 100 plus élevée que dans toutes les autres roues; nous avons cru d'abord qu'une erreur existait dans les dimensions qui nous avaient été données; il paraît qu'il n'en est rien. Néanmoins nous avons pensé qu'il valait mieux ne pas tenir compte de cette valeur que nous n'avons pas figurée dans le dessin.

Une anomalie du même genre nous a fait supprimer sur le dessin la valeur de *n'* pour les roues à bandages en acier Bessemer de $1^m,2625$ de diamètre.

Enfin pour les roues de $2^m,07875$ de diamètre à bandages en acier fondu, quarante bandages ont donné des parcours très élevés en 1876, 1877, 1878; les vingt autres bandages usés en 1879 et 1880 ont au contraire des parcours très faibles qui peuvent être dus à une cause particulière, probablement à une fabrication défectueuse; il ne faut donc pas attacher d'importance à la valeur de *n'* pour ces bandages.

Les *fig.* 13, 14, 15, 16, Pl. VIII, montrent assez nettement que les valeurs de *n'* diminuent pour les bandages en fer quand le diamètre augmente.

L'inverse a lieu pour les bandages en acier fondu et en acier Bessemer.

Conclusions. — En résumé, au point de vue de l'usure des bandages, les roues motrices libres sont les plus défa-

vorables; nous avons constaté au point de vue des essieux e même résultat.

L'accouplement, qui paraissait dans les premiers temps présenter des inconvénients, n'offre donc en dehors de la question de puissance des machines que des avantages aussi bien pour les essieux que pour les bandages.

Le fer donne pour les bandages de roues motrices libres et des roues de support de machines ou de tenders de mauvais résultats; l'acier est bien préférable malgré la différence de prix.

Pour les roues soumises à l'action des freins, l'acier Bessemer paraît convenir le mieux; l'acier fondu lui est supérieur pour les autres roues.

L'usure paraît augmenter pour les bandages en fer avec le diamètre de la roue, et diminuer au contraire pour les bandages en acier fondu ou en acier Bessemer, quand le diamètre augmente.

Nous n'avons pas donné explicitement le parcours des bandages; on peut le déduire facilement des valeurs de n' au moyen de la relation

$$P = 1.000 n' e (D - e).$$

Les essieux en fer présentent sur les essieux en acier ce avantage qu'ils se forcent ou se criquent le plus souvent sans se rompre, tandis que les aciers en fer se rompent en général en service.

Les essieux en acier subissent des avaries après un parcours assez faible; mais il est probable que ceux qui résistent ont un parcours bien supérieur à celui des essieux en fer. Les données nous manquent complètement sur le parcours des essieux en acier arrivés à leur limite d'usure; mais le fait que ces essieux se brisent souvent constitue un danger qui n'est pas sans importance.

Il est donc plus prudent d'employer le fer pour cet usage

sans cependant qu'il y ait lieu de renoncer à l'emploi de l'acier.

On finira probablement par trouver soit un métal constamment homogène et peu sujet à se rompre, soit une méthode d'essai analogue à celle du chemin de fer de l'Ouest qui permet aujourd'hui de rejeter dans un lot de bandages à peu près à coup sûr tous les bandages qui se rompraient en service; la rareté des accidents graves provoqués par les ruptures d'essieux droits de machines est d'ailleurs telle que l'on peut ne pas se préoccuper outre mesure de cette éventualité.

Pour les essieux de wagons, il n'en est plus de même, et le fer nous paraît préférable. La même observation s'applique *à fortiori* aux voitures, bien que les essieux de ces véhicules ne soient pas soumis à des chocs aussi violents et aussi répétés que ceux des wagons.

Les essieux coudés périssent tous par le tourillon; heureusement la rupture ne se produit pas en général d'un seul coup; neuf fois sur onze, il se forme d'abord une crique assez visible pour que la pièce puisse être retirée du service avant la rupture complète. Les essieux coudés peuvent donc être employés sans inconvénients quand ils sont en fer. Dans le cas de l'acier, le nombre des essieux rompus en service est égal à celui des essieux retirés parce qu'ils sont criqués. En raison de leur forme ces essieux se maintiennent à peu près en place après la rupture, de sorte qu'avec certaines dispositions des longerons, on a même vu des essieux coudés se rompre en marche sans que l'allure de la machine s'en ressentît sensiblement.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que plusieurs de ces conclusions basées sur les résultats fournis par une seule compagnie sont par conséquent discutables.

Les exemples que nous avons donnés de l'influence de la provenance sur le parcours total des pièces avariées ou arrivées en service à leur limite d'usure montre combien

le mode de fabrication peut modifier la durée d'une pièce.

Les conditions de résistance et d'épreuve imposées aux constructeurs ne différaient pas sensiblement; on est donc fondé à supposer que sur d'autres lignes de chemin de fer les résultats pourraient être différents.

Il faudrait par conséquent faire une étude semblable pour plusieurs grandes compagnies en France et même à l'étranger.

Malheureusement, il est très difficile de réunir les nombreux documents indispensables pour un tel examen.

Il nous reste, en terminant cette note, à exprimer tous nos remerciements à MM. Delebecque et Bandérali qui ont bien voulu, avec la plus grande complaisance, nous faire donner les renseignements qui nous ont été nécessaires.

EXPÉRIENCES
SUR
LA PRESSION DU GRISOU
DANS LA HOUILLE

Par M. LINDSAY WOOD (*).

Traduction par extraits, par M. Er. MALLARD, ingénieur en chef des mines.

On savait déjà, par quelques expériences faites en Belgique et qui n'ont eu qu'une publicité fort restreinte, que le grisou contenu dans la houille y est soumis à une certaine pression. Les expériences belges avaient constaté que cette pression pouvait atteindre 12 à 15 atmosphères.

Un ingénieur distingué du Nord de l'Angleterre, M. Lindsay Wood, a fait sur ce sujet, de 1879 à 1881, une série nombreuse d'expériences dont les résultats ont été publiés par lui dans le dernier volume des *Mémoires de la Société du Nord de l'Angleterre*.

J'ai cru qu'il était utile de porter à la connaissance des ingénieurs français l'intéressant travail de M. L. Wood. Je me propose en même temps de montrer qu'on en peut tirer d'utiles conséquences.

(*) *Proceedings of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers*. Vol. XXX, 1881.

§ 1.

Expériences faites sur la pression du grisou.

Pour procéder à la mesure de la pression du grisou dans la houille, on perçait, au front de taille d'une galerie, un trou de sonde dont la profondeur variable s'est élevée dans certains cas à près de 15 mètres. Le trou, qui avait un diamètre de $0^m,07$ à $0^m,09$, étant creusé, on y introduisait un tube en fer qui ne pénétrait pas jusqu'au fond et on rendait étanche l'intervalle compris entre le tube et les parois. Le garnissage a varié dans le cours des expériences; on paraît s'être arrêté en dernier lieu à des rondelles de bois, enfilées sur le tube et séparées par de l'étoupe sèche ou trempée dans du ciment. Le tout était bien entendu comprimé avec force. On alternait un pouce d'étoupe sèche, un pouce d'étoupe trempée dans du ciment, une rondelle de bois, et ainsi de suite.

L'extrémité du tube qui sortait du trou était recourbée et portait un manomètre Bourdon, ou, pour les très fortes pressions, un manomètre Schaeffer et Budenberg.

Les courbes (*fig.* 4, 5, 6, 7, Pl. IX) montrent pour chacune des expériences la marche suivie par la pression. Nous n'indiquerons ici que les pressions *maxima* observées (*).

(*) Dans un certain nombre d'expériences, on a cherché, en notant comparativement les indications du baromètre et du thermomètre, s'il y avait une relation entre les variations de la pression du gaz et celles de la pression atmosphérique ou de la température. Comme on pouvait s'y attendre, on n'a trouvé aucune relation entre ces divers ordres de faits.

I. *Expérience faite dans la couche* LOW-MAIN *à la mine* ELEMORE, *à 230 mètres de profondeur.*

Mine ouverte en 1826.
Épaisseur de la couche : 1m,14.
Toit de grès gris peu dur ; mur argileux.
Charbon bitumineux pour l'usage domestique.
Profondeur du trou : 2m,60.
Pression maxima observée : 1kg,98 par centimètre carré.

II. *Expérience faite dans la mine* HETTON, *couche* HUTTON, *à 374 mètres de profondeur.*

Mine ouverte en 1822.
Épaisseur de la couche : 1m,37.
Toit de grès gris ; mur argileux.
Charbon bitumineux pour l'usage domestique.
Profondeur du trou : 2m,74.
Pression maxima : 3kg,16 par centimètre carré.

III. *Expériences faites dans la mine* EPPLETON, *couche* HUTTON, *à 384 mètres de profondeur.*

Mine ouverte en 1837.
Épaisseur de la couche : 0m,91.
Toit de grès ; mur argileux.

Charbon clair, très brillant, bitumineux et modérément dur, avec un clivage nettement défini et ayant la composition suivante :

Carbone fixe	60,34
Matières volatiles	33,31
Soufre	1,47
Cendres	3,48
Eau	1,40
	100,00

NUMÉROS. des expériences.	PROFONDEUR du trou.	PRESSION maxima.
	mètres	kilog. par c. q.
1	1,07	3,86
2	2,29	7,30
4	3,65	2,14
3	7,47	11,30
8	7,60	15,50
5	7,75	8,36
6	11,20	15,70
7	14,30	16,40

On remarquera, en se reportant au plan (*fig.* 1), sur lequel sont indiquées les positions des divers trous de sonde, que le trou n° 4 est percé à la rencontre et dans le voisinage de la galerie au fond de laquelle ont été percés les trous n°s 1 à 3. C'est ce qui explique la faible pression constatée dans cette expérience.

Quant au trou n° 5, il est percé au fond d'une galerie très courte (8m,5) creusée sur le flanc d'une galerie d'allongement. Cette circonstance a amené une diminution considérable dans la pression; nous reviendrons plus tard sur cette observation intéressante.

IV. *Expériences faites à la mine de* Boldon *dans la couche* Bensham *à 384 mètres de profondeur.*

Mine ouverte en 1869.

Épaisseur de la couche : 0m,99.

Toit et mur de grès.

Charbon extrêmement brillant, modérément du ret bitumineux; employé pour l'usage domestique et la fabrication du gaz et ayant la composition suivante :

Carbone	79,58
Hydrogène	4,87
Oxygène	5,21
Azote	1,64
A reporter	91,30

Report	91,30
Soufre	2,02
Cendres	5,53
Eau	1,15
	100,00

NUMÉROS. des expériences.	PROFONDEUR du trou.	PRESSION maxima.
	mètres	kilog. par c. q.
2	2,35	20,8
1	4,83	29,8
4	7,19	26,7
5	8,51	12,3
3	9,74	32,4

Les trous n[os] 1, 2 et 3 étaient percés côte à côte à l'extrémité de la galerie d'allongement la plus avancée (voir *fig.* 2). Le trou n° 4 était percé dans une direction perpendiculaire à une des galeries d'allongement, et c'est sans doute à cette circonstance qu'on doit attribuer la faible pression relative constatée dans cette expérience. Le trou n° 5 était percé sur le flanc d'une galerie d'allongement, dans une position analogue à celle du trou n° 5 d'Eppleton; cette circonstance a entraîné, comme pour ce dernier trou, une diminution considérable dans la pression.

En résumé, les expériences n[os] 1, 2 et 3 sont les seules qui peuvent être comparées entre elles.

La mine de Boldon est celle où la pression la plus considérable ($32^{kg},4$) a été observée. La grandeur même des pressions mesurées a rendu délicates les observations, à cause de la difficulté de maintenir étanches les garnitures du tube; c'est au reste ce dont témoignent les fortes oscillations accusées dans les diagrammes de la *fig.* 0. Il résulte de cette circonstance qu'on ne saurait affirmer qu'on ait bien observé, dans les divers trous, les pressions maxima réelles. Cela est surtout vrai pour le trou n° 3 dans lequel la pression la plus élevée a été atteinte.

V. *Expériences faites à la mine de* HARTON *dans la couche* BENSHAM *à la profondeur de* 370 *mètres.*

La mine a été ouverte en 1825.

Épaisseur de la couche : $1^m,07$.

Toit et mur de grès.

Charbon brillant et bitumineux, employé pour l'usage domestique.

NUMÉROS. des expériences.	PROFONDEUR du trou.	PRESSION maxima.
	mètres	kilog. par c. q.
1	4,95	13,8
2	8,40	16,2
3	11,32	20,7

Les nos 1 et 2 étaient percés côte à côte au fond de la galerie de direction la plus avancée (*fig.* 3).

Ces expériences, qui ont été les dernières en date, ont été assez régulières; cependant des pertes dans le garnissage du tube furent constatées dans le cours des trois expériences et amenèrent quelques irrégularités dans la marche de l'élévation de la pression.

Le 20 août 1880, à la suite d'expériences sur le dégagement du gaz, le tube n° 3 fut laissé en place et fermé à son extrémité. Il fut rouvert trente-trois semaines après, le 12 avril 1881, à 4^h45 du matin, et le 13 avril à 9 heures du matin, la pression atteignait un maximum égal à $11^{kg},1$. La pression maxima s'était donc abaissée, dans cet intervalle de trente-trois semaines, de $9^{kg},5$.

§ 2.

Expériences sur les quantités de gaz dégagées.

Ces expériences se faisaient en enlevant momentanément le manomètre et le remplaçant par un tube de dégagement que l'on mettait en communication avec un compteur à gaz. Tantôt cette substitution se faisait à la fin des observations de pression : tantôt elle se faisait pendant le cours de celles-ci et le manomètre succédait de nouveau au compteur. L'écoulement du gaz pendant un certain temps ne paraît pas avoir, en général, modifié beaucoup de la pression maxima; on observe même que l'accroissement de la pression se fait toujours sensiblement suivant la même loi.

La surface libre au fond du trou de sonde, c'est-à-dire celle qui n'était point recouverte par le bourrage, donnait seule passage au gaz que l'on recueillait; on déduisait cette surface du diamètre du trou et de la distance qui séparait du fond l'anneau du tube où s'arrêtait le bourrage.

Ces expériences ont été fort peu concordantes, et il est impossible d'en tirer aucune conclusion précise. Il est clair en effet que des causes accidentelles, aussi difficiles à éviter qu'à constater, pouvaient faire varier beaucoup le dégagement. Telles étaient les obstructions, au moins partielles qui pouvaient se produire dans le tube, les fissures et les dégradations qui pouvaient se produire dans les parois du trou et modifier l'étendue de la surface libre, etc. D'ailleurs la quantité de grisou qui se dégage par unité de temps de l'unité de surface du fond du trou est une donnée fort complexe qui n'a pas de rapport immédiat avec la quantité de grisou qui peut se dégager d'un front de taille.

Je citerai cependant la plupart des résultats donnés par M. L. Wood.

I. *Eppleton n° 3.*

Surface de dégagement : $0^{mq},246$.

Pression maxima observée : $12^{kg},70$.

On a observé le dégagement pendant vingt et un jours consécutifs, du 3 au 23 octobre; la courbe (*fig.* 8, Pl. IX) montre quel a été chaque jour le nombre de mètres cubes dégagés par heure. Si l'on met de côté une période anormale, du 5 au 9 octobre, qu'il serait difficile d'expliquer, on voit que le dégagement commence d'abord par être très abondant, puis décroît et se maintient presque rigoureusement constant du 9 au 22, pendant treize jours, au taux de $0^{mc},203$ par heure, soit $1^{mc},03$ par heure et par mètre carré de surface libre au fond du trou.

II. *Expériences de Boldon.*

	SURFACE de dégagement.	PRESSION maxima observée.	DÉBIT par heure et par mètre carré de surface.
	mèt. quarrés	kg. par c. q.	mèt. cubes
N° 2	0,114	20,8	»
25 mai, de 12^h15 à 12^h25	»	»	0,114
28 mai, de 9^h15 à 1^h15	»	»	0,114
4 au 5 juin	»	»	0,174
N° 1	0,392	29,8	»
28 mai, de 10^h20 à 11^h20	»	»	0,087
3 au 4 juin	»	»	0,064
N° 4	0,238	26,7	»
29 mai, de 1^h5 à 2^h5	»	»	0,315
Du 29 mai, à 2^h20 M., au 2 juin, 8^h10 M.	»	»	0,273
N° 3	0,259	32,4	»
28 mai, de 11^h45 à 12^h45	»	»	0,050
2 au 3 juin	»	»	0,073

III. *Expériences de Harton.*

	SURFACE de dégagement.	PRESSION maxima observée.	DÉBIT par heure et par mètre carré de surface.	
	mèt.carr.	kg. par c. q.	mèt. cub.	mèt. cub.
N° 1	0,223	13,8	»	»
18 juin, de $7^h 40$ M. à $8^h 40$ M.	»	»	0,144	»
Du 13 au 20 juillet. — Moyenne	»	»	»	0,089
N° 2	0,259	16,2	»	»
18 juin, de 9 à 10 heures	»	»	0,255	»
Du 20 au 27 juillet. — Moyenne	»	»	»	0,120
N° 3	0,327	20,7	»	»
18 juin, de $10^h 20$ à $11^h 20$	»	»	0,434	»
Du 28 au 13 juillet. — Moyenne	»	»	»	0.347

On voit qu'il est impossible de dégager de ces nombres une loi quelconque Les nombres les plus comparables entre eux paraissent être ceux de la mine de Harton. On y voit en effet que le débit va en croissant à mesure que la pression croît, ce qui est d'ailleurs évidemment nécessaire. Cette loi ne ressort cependant pas des expériences de Boldon, et cela seul suffit à montrer qu'elles ont dû être soumises à des causes d'erreur qui n'ont pas été démêlées.

§ 3.

Conclusions.

M. Lindsay Wood s'est montré très sobre sur les conclusions que l'on peut tirer des très intéressantes observations faites par lui. Il s'est contenté de chercher une loi susceptible de relier, dans une même mine, la profondeur du trou à la pression maxima observée. Il pense avoir établi que la pression maxima croît proportionnellement à la racine carrée de la profondeur. Il ne rattache d'ailleurs à cette loi aucune idée théorique.

Je crois que l'on peut interpréter autrement les résultats des observations.

Parmi toutes les idées que l'on peut se faire *a priori* sur la manière d'être du grisou dans la houille, la plus simple consiste à supposer que le gaz imprègne le combustible comme l'eau imprègne une couche poreuse, et qu'une couche de houille grisouteuse est un niveau gazeux, absolument de la même façon que telle couche de grès est un niveau aquifère. Dans cette hypothèse, quelle qu'ait été, à l'origine, la relation qui ait lié la genèse du grisou à celle de la houille, il y aurait actuellement entre le gaz et le solide une indépendance aussi complète que celle qui existe entre l'eau et le grès du niveau d'eau.

Si cette hypothèse est exacte, le mouvement du gaz à travers le combustible doit se faire d'après les mêmes lois que celles qui régissent le mouvement de l'eau dans une couche aquifère. Or, la répartition de la pression dans la masse du combustible, à partir d'une surface libre, dépend évidemment de la manière dont le gaz se propage dans cette masse. On comprend donc que les expériences de M. L. Wood peuvent nous permettre de vérifier l'exactitude ou la fausseté de l'hypothèse.

Supposons que le combustible présente en s_0 (*fig.* 9) une surface libre baignée par une atmosphère dans laquelle le grisou aura une pression h_0 inférieure à la pression maxima H du grisou dans la houille. Du grisou s'écoule d'une manière continue par cette surface, et, à un moment quelconque, la pression du gaz dans l'intérieur du combustible va en croissant, à partir de s_0, depuis h_0 jusqu'à H.

Nous pouvons considérer la masse de combustible traversée par un système de surfaces isobares ou d'égale pression.

Prenons sur s_0 une surface infiniment petite, et menons, par le contour de cette surface, des lignes normales en chaque point aux surfaces isobares traversées. Dans l'es-

pèce de tuyau ainsi formé, prenons une portion comprise entre deux surfaces isobares infiniment voisines, correspondant aux pressions h et $h + dh$. Soit dr la distance des deux surfaces, s et $s + ds$ les aires découpées par le tuyau dans chacune d'elles.

Entre les sections s et $s + ds$ il se fait un échange de gaz, et cet échange est en faveur de la section sur laquelle s'exerce la pression la plus faible. Le poids du gaz qui, dans l'unité de temps, passe ainsi de la surface $s + ds$ à la surface s, en parcourant le chemin dr, est nécessairement proportionnel à dh, en vertu de la loi de proportionnalité des petits effets à la grandeur de la cause.

Ce poids peut donc être représenté par

$$asdh,$$

a étant un coefficient qui mesure la *perméabilité* du combustible pour le gaz, et qui est d'autant plus grand que cette perméabilité est plus grande.

Le poids de gaz qui traverse l'unité de distance dans l'unité de temps est égal à $as\frac{dh}{dr}$. Si l'on représente par k le débit de gaz à travers l'unité de surface, on aura

$$ks = as\frac{dh}{dr}.$$

Telle est, en effet, la loi qui a été trouvée expérimentalement par Darcy pour représenter le débit de l'eau filtrant à travers une couche poreuse.

Le débit k varie à chaque instant, mais si l'on considère le phénomène au bout d'un certain temps, les variations de k avec le temps sont fort lentes, et k peut être considéré, à un instant quelconque, comme sensiblement constant.

Appelons s_0 l'aire découpée sur la surface S par le tuyau orthogonal considéré, le débit, par la surface s_0 est $k_0 s_0$, k_0 étant le débit par unité de surface à travers la surface S,

au point considéré, et l'on pourra écrire, en vertu de la permanence approchée de mouvement,

$$k_0 s_0 = as\frac{dh}{dr}, \tag{1}$$

Cette équation différentielle permettrait d'obtenir, par une intégration, la loi qui lie, au moment considéré, h avec r, c'est-à-dire la loi de la répartition de la pression dans la masse du combustible.

Il est à remarquer que cette théorie est exactement celle qui s'appliquerait à une masse ayant une certaine température initiale H et qu'on supposerait se refroidir par une surface libre plongée dans une enceinte à la température h_0. Le coefficient a serait alors le coefficient de conductibilité calorifique de la masse. Les quantités de chaleur remplaceraient les quantités de gaz.

On peut donc dire, d'une manière générale, que la répartition de la pression du grisou dans l'intérieur d'un massif de houille se fait comme se ferait celle de la température dans une masse de même forme et soumise à des conditions thermiques que l'on obtiendrait en remplaçant le coefficient de perméabilité par le coefficient de conductibilité, les pressions, par les températures, les poids de gaz dégagés par les quantités de chaleur perdues.

Appliquons cette théorie à quelques cas particuliers.

Supposons une couche comprise entre deux épontes imperméables et découpée par un front de taille très large qu'on peut supposer indéfini. Les surfaces isobares seront des plans parallèles à celui du front; on aura $s = s_0$, et l'équation (1) deviendra

$$\frac{dh}{dr} = \frac{k_0}{a},$$

d'où

$$h - h_0 = \frac{k_0}{a} r,$$

ou encore

$$h = \frac{k_0}{a} r,$$

si l'atmosphère en contact avec le front est dépourvue de grisou et si, par conséquent $h_0 = 0$.

On voit que, dans ce cas, la pression croît proportionnellement à la distance au front de taille. Si OM représente une droite menée à partir du front de taille perpendiculairement à ce front, la pression de grisou correspondant à un point quelconque de cette droite sera représentée par l'ordonnée d'une droite *oa* dont le coefficient angulaire est $\frac{k_0}{a}$. A partir du point A où l'ordonnée de la droite est égale à la pression maxima H du grisou dans le massif, la pression reste constante et est représentée par une horizontale.

Les expériences de M. Lindsay Wood ont été faites non pas sur le front de taille d'un large chantier, mais sur celui d'une galerie d'avancement; c'est donc à ces conditions qu'il faut appliquer la théorie pour la comparer à l'observation.

Pour ne pas compliquer le problème sans nécessité, nous supposerons que le front de la galerie, qui est compris entre le toit et le mur de la couche, est un demi-cylindre circulaire, dont l'axe est normal aux épontes, et dont le rayon est la demi-largeur de la galerie. Le front réel ne diffère de ce front hypothétique que par la suppression des deux prismes latéraux de houille, d'un très faible volume relatif, et dont la présence ou l'absence ne peut avoir qu'une influence négligeable sur la répartition de la pression à une certaine distance de la surface.

Dans ces conditions les surfaces isobares sont des cylindres concentriques à celui de la surface, et les tuyaux orthogonaux sont limités par des plans, normaux aux épontes, et passant par l'axe commun des cylindres.

Dans l'équation (1) nous aurons donc

$$\frac{s}{s_0} = \frac{r}{r_0},$$

en appelant r le rayon du cylindre sur lequel s'exerce la pression h, et r_0 celui du cylindre qui limite la surface. L'équation (1) prend ainsi la forme

$$k_0 r_0 = ar \frac{dh}{dr},$$

ou

$$\frac{dr}{r} = \frac{a}{k_0 r_0} dh.$$

En intégrant, il vient

$$\text{log.nép.}\, r = \frac{a}{k_0 r_0} h + \mathrm{C}.$$

Si nous supposons que la pression du grisou dans l'atmosphère qui baigne la surface de front est h, la constante C se déterminera en faisant $h_0 = 0$ pour $r = r_0$, ce qui donne

$$\text{log.nép.}\, \frac{r}{r_0} = \frac{a}{k_0 r_0}(h - h_0).$$

Dans les expériences de M. L. Wood, on peut admettre que $h_0 = 0$, l'équation que ces expériences doivent vérifier, si l'hypothèse est exacte, est donc, en transformant les log. nép. en logarithmes vulgaires,

$$h = \frac{k_0 r_0}{a\mathrm{M}} \log \frac{r}{r_0}.$$

La vérification peut être faite d'une manière très simple en remarquant que si l'on prend $h = y$ et $x = \log. \frac{r}{r_0}$, l'équation représente une droite passant par l'origine.

On ne peut, bien entendu, comparer entre elles que les expériences faites simultanément dans une même mine et

dans des points suffisamment rapprochés d'une même mine, car les coefficients k_0 et a peuvent varier beaucoup d'une mine à une autre et d'un point à un autre d'une même mine.

Pour procéder à la vérification il faut d'abord éliminer les n°s 4 et 5 des expériences d'Eppleton et de Boldon qui n'ont pas été faites dans les circonstances auxquelles s'appliquent nos formules.

Les *fig.* 10 et 12 montrent que les points figuratifs des résultats obtenus dans les expériences d'Eppleton et de Harton se placent bien respectivement sur deux droites partant de l'origine. Les différences ne paraissent pas dépasser les erreurs possibles dans l'observation.

Quant aux expériences de Boldon (*fig.* 11) l'erreur est plus considérable, mais on se rappelle que ces expériences ont été assez difficiles, à cause de la grandeur de la pression qu'il s'agissait de mesurer, et que les nombres obtenus, surtout les plus élevés, ne paraissent pas mériter une confiance absolue.

Voici au reste un tableau numérique qui donne, sous une autre forme, la comparaison entre la théorie et l'expérience.

NUMÉROS des expériences.	PROFONDEUR du trou ou $r - r_0$.	r	$\log \frac{r}{r_0}$.	h observé.	h calculé.
		Eppleton.			
	mètres	mètres		kg. par c. q.	kg. par c. q.
1	1,07	2.44	0,249	3,86	4,2
2	2.29	3,66	0,425	7,3	7,3
3	7,49	8,86	0,809	14.3	13,7
8	7,64	9,01	0.816	15.5	14,0
6	11,20	12,57	0,964	15,7	16.3
7	14,30	15,67	1,057	16,5	17,8
		Boldon.			
2	2,35	3,72	0,431	20,8	18,9
1	4,83	6,20	0,720	29,8	29,8
3	9,76	11,13	0,909	32,4	37,5
		Harton.			
1	4,95	6,32	0,663	13,8	13,8
2	8.40	9,77	0,851	16,2	17,6
3	11,32	12,69	0,966	20,7	20,1

Il faut remarquer que, dans le même quartier d'une même mine, l'accroissement de la pression dans le massif ne se fait pas suivant la même loi lorsque le front de taille est celui d'une galerie d'avancement ou lorsque c'est celui d'un large chantier. Dans ce dernier cas, le taux de l'augmentation avec la distance est nécessairement moins rapide, puisque le dégagement du grisou est beaucoup plus facile. C'est par cette raison que les expériences 5 d'Eppleton, 4 et 5 de Boldon ont donné des pressions beaucoup moins élevées que celles que l'on aurait constatées si elles avaient été faites dans les mêmes conditions à l'extrémité de galeries d'avancement.

En définitive, les expériences de M. Lindsay Wood vérifient l'hypothèse aussi bien qu'il était permis de l'espérer. On peut donc considérer comme démontré que le grisou est contenu dans la houille comme le serait un gaz quelconque dans une matière poreuse ; les couches de houille grisou-

teuses sont de véritables niveaux gazeux, en tous points comparables aux niveaux aquifères.

Il en résulte que le gaz ne peut être maintenu dans la houille que par une enveloppe étanche susceptible de résister à la pression maxima H du grisou dans l'intérieur du massif. Cette enveloppe, au sein de la terre, ne peut se trouver que dans les couches de terrains superposées. Il faut donc que ces couches ne soient pas poreuses et qu'elles soient maintenues par des couches supérieures assez pesantes pour faire équilibre à des pressions de 30 ou 40 atmosphères, peut-être même à des pressions plus élevées encore, car on ne peut espérer avoir constaté le maximum que peut atteindre la pression de grisou dans la houille.

On peut tirer de là, au point de vue de la géogénie de la houille et du terrain houiller, quelques aperçus intéressants. En premier lieu, il semble nécessaire que la formation du grisou ait été postérieure, et même de beaucoup postérieure à l'enfouissement du combustible, car le grisou ne se serait pas accumulé dans la masse de ce combustible, si, au moment de sa formation, les couches sus jacentes accumulées n'avaient été capables de résister à la pression exercée par le gaz. Si, comme on peut le penser, la houille est due dans la plupart des cas à l'enfouissement de combustibles végétaux, la transformation de ces combustibles en houille ne s'est produite ou tout au moins ne s'est complétée que lorsque de nouvelles couches s'étaient accumulées en quantité considérable au-dessus de la couche de combustible.

Supposons que l'enfouissement a eu lieu à une époque géologique fort ancienne, telle que l'époque houillère, et pendant laquelle on peut supposer que le globe était plus chaud qu'il ne l'est maintenant, de telle sorte que la température superficielle due à la chaleur interne n'était pas négligeable. A cette époque, lorsque le combustible se trouvait recouvert par 2 ou 300 mètres de terrain, il pou-

vait être soumis à une température atteignant ou même dépassant 100°. Cette température était un énergique agent de transformation. Cet agent a fait défaut au contraire pour les combustibles formés à une époque géologique plus récente, et c'est là peut-être ce qui explique les différences très importantes qui séparent les lignites des houilles proprement dites. C'est là aussi ce qui pourrait expliquer pourquoi les mines de lignite ne sont pas en général grisouteuses.

Lorsqu'une couche de houille se trouve exposée à l'air libre par son affleurement découvert, le grisou se répand dans l'atmosphère et le dégagement, d'abord rapide, va en diminuant de plus en plus jusqu'à être presque insensible. Si la couche était homogène, le grisou finirait par disparaître en totalité au bout d'un temps qui pourrait d'ailleurs être extrêmement long. Mais la couche peut être divisée en compartiments distincts et étanches par des failles, par des crains remplis d'une matière non poreuse, etc.; dans ce cas, l'un de ces compartiments peut se vider sans que les autres perdent leur gaz. On peut donc avoir dans une même couche des régions grisouteuses et d'autres dépourvues de grisou.

Même en l'absence de ces espèces de cloisons étanches, la répartition du grisou dans une même couche de houille peut varier d'une région à une autre par suite de la variation du coefficient de perméabilité a. Tout fait penser en effet que ce coefficient n'est pas une constante spécifique plus invariable qu'aucune autre propriété de la houille. La pression restera comparativement plus élevée dans les régions où le coefficient a sera le plus faible.

Lorsque la houille sera en contact avec une cavité produite par quelque faille, le grisou s'y accumulera jusqu'à ce qu'il y ait pris une pression égale à celle qu'il possède dans la houille.

Lorsque la houille sera en contact avec une couche de grès poreuse, le grisou s'y accumulera s'il est retenu par une couche imperméable supérieure, et le grès constituera un autre niveau de gaz.

La théorie permet donc de comprendre les diverses circonstances et les singulières variations que présente le gisement du grisou.

Elle peut aussi expliquer les particularités non moins variées que présente le dégagement du grisou dans les travaux.

Supposons un large front de taille ouvert dans une couche de houille; au bout d'un certain temps, la pression du gaz, en arrière du front de taille, est représentée, en un point donné par l'ordonnée d'une certaine droite AB (*fig.* 13) qui part de zéro au front de taille, et a pour coefficient angulaire $\frac{k_0}{a}$. L'ordonnée de la droite est égale à la pression maxima H, à une distance R du front.

Si on laissait le front de taille intact, le débit superficiel k_0 irait en diminuant graduellement, et au bout du temps t la droite AB s'abaisserait en prenant la position AB', en même temps que R augmenterait.

Si, au contraire, en abattant une certaine quantité de charbon, on avance le front jusqu'au niveau du point A, on met brusquement à découvert une tranche de houille dans laquelle la pression est égale à l'ordonnée A'C'; le dégagement de gaz se fait dans les premiers instants avec une abondance relativement grande, et au bout du temps t, la répartition de la pression est marquée par la droite A'B'. Tel est le mode de dégagement normal du grisou pendant l'abatage. On voit que ce dégagement est, toutes choses égales, d'autant plus grand qu'on s'avance plus rapidement dans l'intérieur du massif. Il vaut donc mieux avoir des chantiers très étendus que d'avancer rapidement un chantier plus restreint. Pour une même quantité de houille

abattue, et pour un même mode de gisement de grisou, le dégagement sera aussi plus abondant dans une couche mince que dans une couche puissante.

Pour que les choses se passent avec la régularité qu'on vient de supposer et pour que le dégagement du grisou reste normal, il faut que la houille possède une certaine ténacité.

A un moment quelconque de l'abatage, une tranche superficielle de houille, d'épaisseur r, est soumise sur la face interne à la pression h, et sur la face externe à la pression atmosphérique h_0. Il faut donc que la ténacité de la houille soit susceptible de résister à la pression $h - h_0$. Si r_0 est petit et $h - h_0$ grand, ce qui arrivera lorsque l'abatage sera poussé activement, lorsque H sera grand et a petit, $h - h_0$ sera grand ; si en outre la ténacité du combustible est faible, il pourra arriver que la tranche de houille d'épaisseur r soit projetée en avant. Mais alors la tranche située immédiatement derrière celle qui a été projetée se trouve soumise à une différence de pression plus grande encore; elle sera projetée à son tour et ainsi de suite. En un mot, la houille fera littéralement explosion, et des quantités énormes de gaz pourront être mises soudainement en liberté en même temps que des quantités correspondantes de houille seront réduites en poussière.

Telle est l'explication des *dégagements instantanés* de grisou qui ont pris dans certaines régions de la Belgique un si funeste développement. Cette explication avait déjà été donnée par M. Arnould, et la théorie qu'on déduit des expériences de M. L. Wood la confirme pleinement.

Dans les mines sujettes à ces sortes d'accidents il serait bien désirable qu'on pût, au front de taille des galeries qui pénètrent le plus profondément dans le massif, se rendre compte à chaque instant de la répartition de la pression, de manière à retarder l'avancement lorsque le taux de

l'accroissement de la pression dépasserait une certaine limite. Ce serait peut-être le meilleur moyen de conjurer ces redoutables catastrophes.

Supposons un ensemble de deux couches grisouteuses superposées et séparées par un entre-deux imperméable. Si la couche supérieure est exploitée sans que les deux autres le soient, les vides provenant de l'exploitation pourront ne plus laisser à l'entre-deux la possibilité de résister à la pression du gaz de la couche inférieure. On verra donc le mur de la couche exploitée se soulever, se disloquer et donner passage à des quantités de gaz plus ou moins considérables. Telle est l'explication très simple des dégagements soudains (*sudden outbursts*) venant du mur et observés dans un très grand nombre du houillères anglaises (*).

On comprend d'ailleurs que ces *sudden outbursts* peuvent se produire au toit de la couche exploitée lorsque la couche grisouteuse est située au-dessus de la couche exploitée.

Les mineurs belges, rapporte M. Arnould dans le mémoire que j'ai déjà cité, croient faciliter l'abatage de la houille en diminuant l'aérage au front de taille et augmentant ainsi la quantité de grisou de l'air extérieur. Cette opinion, en apparence bizarre, peut trouver son explication dans la théorie précédente. Si en effet on produit extérieurement une pression du grisou égale à h_0, la pression dans l'intérieur du massif s'élève alors en partant non plus de zéro, mais de h_0; à la même distance du front, la pression du gaz se trouve ainsi accrue de h_0 et cette pression tout entière se trouve travailler en faveur de l'ouvrier. Si par la proportion de grisou dans l'air est augmentée de 3 p. 100,

(*) Voir une étude très intéressante de ces *Sudden outbursts* dans le rapport de mission de MM. Pernolet et Aguillon.

la pression h_0 est égale à $0^{kg},03$ par centimètre carré, ou à 30 kilog. par mètre carré. Une semblable pression peut n'être pas négligeable relativement à la ténacité de la houille.

Je ne pousserai pas plus loin l'étude des conséquences que l'on peut déduire de la connaissance exacte du mode de gisement du grisou. Il me suffit d'avoir montré quel en est l'intérêt.

Sans doute, la théorie que j'ai exposée n'est pas nouvelle et beaucoup d'autres l'avaient plus ou moins nettement formulée. Les recherches de M. de Marsilly avaient même déjà montré qu'il y avait en réalité indépendance entre la houille et le grisou qu'elle contient. Mais les travaux de M. L. Wood viennent donner à cette théorie une confirmation expérimentale rigoureuse. Ils permettent en même temps de lui donner un énoncé précis qui pourrait être le suivant :

Le grisou est un gaz renfermé dans la houille comme l'eau l'est dans une couche poreuse. Il s'y trouve comprimé sous une pression très variable, qui peut atteindre et sans doute dépasser 32 *kilog. par centimètre carré.*

Les questions du mode de gisement et du mode de dégagement du grisou ont ainsi acquis une base solide sur laquelle des recherches ultérieures pourront élever un édifice plus complet. Ce qui paraîtrait le plus utile actuellement serait de chercher à mesurer, pour un certain nombre de mines, les coefficients que j'ai désignés par les lettres k_0 et a, c'est-à-dire la quantité de gaz dégagée par unité de surface au front de taille à un moment donné, et le coefficient de perméabilité de la houille pour le grisou. Ce sont en effet ces deux données qui règlent à chaque instant, avec la pression maxima dans l'intérieur du massif, le dégagement du gaz.

NOTICE
SUR LA COMPOSITION DES PAILLES
QUI SE DÉTACHENT DE LA PARTIE SUPÉRIEURE
DES GUEUSETS DE CERTAINES FONTES D'AFFINAGE
ET SUR QUELQUES VARIÉTÉS DE LAITIERS
OBTENUES DANS LA FABRICATION DES FONTES DE MOULAGE

Par M. A. JAUMAIN, ingénieur des hauts fourneaux de la Société de la Providence (à Marchiennes).

Lorsqu'on coule de la fonte, divers composés, formés par le silicium, le soufre, le phosphore, le manganèse, etc., ne se répartissent pas uniformément dans la masse de la fonte. Plusieurs de ces corps tendent à être expulsés vers la partie supérieure, soit parce que leur densité est inférieure à celle de la masse, soit par une réaction chimique qui intervient entre ces corps, soit par toute autre cause. Ainsi, on sait que les fontes de moulage expulsent, vers les arêtes des pièces, une quantité de silice quelquefois considérable. La silice se dépose de préférence entre la fonte et le moule en sable, dans le vide formé par le retrait de la fonte. Cette silice est parfaitement pure et blanche.

D'après M. Gruner (*Études métallurgiques*), il se dégage de la fonte en fusion, du sulfure silicique, qui est un peu volatil et facilement entraîné par d'autres gaz. Lorsque la fonte n'est pas couverte, ce sulfure brûle à l'air. Il s'oxyde au contraire, aux dépens de l'eau, lorsque la fonte est coulée dans du sable humide.

Mais revenons aux composés qui se portent vers la surface supérieure des gueusets. Les fontes d'affinage présentent, à leur surface, une peau rugueuse ou une peau lisse, quelquefois un mélange des deux, suivant que la fonte provient d'allure plus ou moins chaude.

La partie rugueuse se détache quelquefois assez facilement; on peut aussi enlever des fontes qui ont une peau lisse, une pellicule plus ou moins mince.

La composition de ces écailles et pellicules est très intéressante à étudier.

Presque toujours dans les fontes d'affinage, les pailles contiennent principalement des quantités considérables de silicium et de phosphore. Les proportions de manganèse et de soufre sont aussi beaucoup plus considérables que dans la masse de la fonte.

La dose de silicium contenue dans les pailles peut atteindre six à douze fois celle qui est contenue dans la fonte, et la proportion de phosphore est généralement deux à trois fois supérieure à celle de la fonte. Le manganèse, à peine à l'état de traces dans la fonte, peut être assez abondant dans les pailles. Je crois que généralement le manganèse existe dans la fonte, à l'état de siliciure, et de carbure de manganèse. Souvent, dans l'attaque d'une fonte par le chlorate, j'ai remarqué qu'une partie du manganèse reste inattaquée avec du silicium. De plus, en examinant les diagrammes de déphosphoration, à la cornue, basique, on voit de suite qu'une partie notable de manganèse se scorifie en même temps que le silicium, et que l'autre partie suit exactement la ligne de départ du carbone.

Nous allons donner une série d'analyses de fontes d'affinage avec leurs pailles. Ces fontes proviennent des hauts fourneaux de l'usine de Couillet, et les analyses ont été faites au laboratoire de l'usine par M. F. Lacanne, ingénieur. Les échantillons ont été pris à d'assez longs intervalles.

	ÉCHANTILLON 1.		ÉCHANTILLON 2.		ÉCHANTILLON 3.	
	Fonte.	Pailles.	Fonte.	Pailles.	Fonte.	Pailles.
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Silicium	0,713	7,287	1,457	2,341	0,520	3,453
Soufre	0,308	0,687	0,505	0,550	0,453	0,670
Phosphore	1,798	5,145	1,922	5,404	1,512	4.906
Manganèse	traces	0,180	traces	0,140	traces	0,201
	ÉCHANTILLON 4.		ÉCHANTILLON 5.		ÉCHANTILLON 6.	
	Fonte.	Pailles.	Fonte.	Pailles.	Fonte.	Pailles.
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 109	p. 100	p. 100
Silicium	0,793	5,315	0,513	3,987	0,859	11,523
Soufre	0,369	0,714	0,343	1,088	0,559	1,173
Phosphore	1,723	3,910	1,558	3,875	2,215	4,884
Manganèse	traces	0,100	traces	0,102	traces	0,343

Voici l'analyse d'une fonte du fourneau de Chatelineau (même Société). Cette fonte contient un peu de manganèse.

	ÉCHANTILLON 7.	
	Fonte.	Pailles.
	p. 100	p. 100
Silicium	1,101	5,658
Soufre	0,405	0,740
Phosphore	1,631	4,957
Manganèse	0,131	0,401

Les fontes qui donnent lieu à ces pailles sont toujours produites en allure de fonte blanche très chaude, et avec des laitiers fortement calcaires.

La composition de ces laitiers se rapproche de la suivante :

Silice	38 à 40	p. 100
Alumine	15 à 16	—
Chaux	40 à 41	—
Magnésie	2 à 2 1/4	—
Soufre	0,70	—

Voici l'analyse d'une fonte manganésifère, obtenue à Marchiennes.

Cette fonte provient de la première coulée d'un changement d'allure de fonte ordinaire, en fonte manganésifère.

La peau de cette fonte était très lisse, et les écailles, de 1/2 millim. d'épaisseur environ, se détachaient de la surface supérieure des gueusets, en plaquettes de grandes dimensions.

ANALYSE DE LA FONTE.		PAILLES.
	p. 100	p. 100
Silicium	0,46	2,80
Phosphore	1,90	3,45
Manganèse	0,72	3,60
Graphite	2,15	» (*)
Carbone combiné	2,54	» (*)
Fer	»	63,00

(*) Le carbone a complètement disparu des pailles par le fait du grillage.

(*) Les pailles se grillent à l'air, de sorte que le fer est partiellement oxydé, ainsi qu'une fraction des autres éléments.

Le laitier produit en même temps que cette fonte avait la composition suivante :

SiO_2	31,00	p. 100
FeO	1,24	—
$Ph_2O_5 + Al_2O_3$	19,05	—
CaO	40,90	—
MgO	1,48	—
S	0,71	—
MnO	4,64	—

En allure de fonte blanche à minette, et avec des laitiers accidentellement trop basiques, difficiles à couler, toute la surface de la fonte était recouverte d'une écaille qui se détachait par refroidissement. Nous avons obtenu les résultats suivants :

	FONTE.	PAILLES	LAITIERS.	
	p. 100	p. 100		p. 100
Si	0,41	2,29	SiO_3	31,50
			Al_2O_3	15,00
S	0,38	0,52	FeO	1,96
			MnO	0,70
Ph	1,50	5,17	CaO	49,75
			MgO	0,56
Mn	traces	0,34	S	0,59

Comme exemple de la grande quantité de phosphore et de soufre contenus dans les pailles, nous citerons l'analyse suivante :

	FONTE.	PAILLES.
	p. 100	p. 100
Si	0,186	2.52
S	0,835	2,05
Ph	2,140	7,04
Mn	traces	0,42

Nous terminerons par une analyse, qui donne une proportion très grande de manganèse dans les pailles :

	FONTE	PAILLES.
	p. 100	p. 100
Si	0,569	5,44
S	0,330	0,51
Ph	2,320	5,03
Mn	0,180	3,39

Ces exemples suffisent pour montrer que dans les fontes d'affinage, produites en allure chaude, avec des laitiers basiques, une partie des composés impurs, formés par le silicium, le soufre, le phosphore, le manganèse, tendent à se séparer par simple liquation de la masse de la fonte. La partie supérieure des gueuses contient les éléments étrangers en plus grande proportion que la partie inférieure.

Les pailles, dont nous avons donné l'analyse, ne con-

tiennent ni graphite, ni carbone combinés. C'est un composé des corps indiqués avec du fer plus ou moins oxydé (*).

On remarque aussi quelquefois dans les fontes d'affinage à minettes, des écailles se composant de larges feuillets flexibles, superposés et enchevêtrés les uns dans les autres. Ces feuillets forment quelquefois, en certains points de la partie supérieure de la gueuse, une épaisseur de 2 à 3 centimètres. M. Gruner, dans ses études métallurgiques, donne la description de ce produit (observé à Brousval) sous le nom de fonte *écailleuse*. Mais ces écailles ne contiennent pas de phosphore en grande quantité, comme les pailles dont nous venons de parler. Les fontes écailleuses dont parle M. Gruner sont produites avec des laitiers peu calcaires, tandis que c'est le contraire pour les pailles.

Une autre question, également intéressante à étudier, est la nature de surface des gueusets de fontes de moulage, produites avec les minerais olitiques.

Généralement la peau de ces fontes est d'autant plus *douce* que les fontes sont plus grises. Elle se coupe comme du plomb, et sa surface est unie, sans rugosités. Les fontes à peau *lisse* sont surtout recherchées par les fondeurs en 2me fusion pour la poterie. Lorsque les fontes ont une peau *rugueuse*, elles sont généralement de qualité médiocre.

En détachant la partie supérieure formant les rugosités, et en éliminant avec soin le sable provenant du moulage,

---

(*) J'ai examiné un échantillon de pailles, que m'a adressé M. Jaumain. Le brome dissout 7 p. 100 de fer métallique. La masse est à l'état d'oxyde magnétique, non soluble dans l'acide azotique étendu; le reste à l'état de protoxyde, combiné à l'acide phosphorique, etc. Une partie du silicium et du manganèse est également oxydée; mais une autre partie, sous forme de siliciure, a résisté au grillage, qui s'est naturellement produit lors du refroidissement des gueusets à l'air. Les pailles ressemblent d'ailleurs à certaines battitures de fer par leur aspect extérieur. Elles sont fragiles et s'écrasent facilement, sauf quelques rares globules de fonte. Le grillage a été assez énergique pour oxyder tout le carbone. L. GRUNER.

j'ai trouvé que généralement ces pailles contiennent une quantité de silicium double de celle de la fonte. Au contraire la quantité de phosphore n'est souvent que le 1/4 de la proportion contenue dans la fonte, ce qui est l'inverse des fontes d'affinage.

Nous devons toutefois ajouter que jusqu'à maintenant, nous avons moins étudié cette particularité des fontes de moulage, que les fontes d'affinage dont nous avons parlé précédemment.

Généralement les fontes de moulage à peau rugueuse sont moins siliceuses et plus résistantes à la cassure que les fontes à peau lisse, une partie du silicium ayant été oxydée par les réactions que nous indiquerons plus loin. D'une part, ces mêmes fontes, refondues au cubilot, blanchissent plus facilement, et leur retrait est plus fort que celui des fontes à peau douce. La composition plus ou moins basique des laitiers ne paraît pas influencer l'aspect de la peau.

Quand le gueulard est trop chaud, la peau des fontes de moulage est généralement rugueuse; or, on sait que l'échauffement du gueulard correspond presque toujours à une mauvaise allure (*). Toutefois ces peaux rugueuses peuvent aussi se produire avec un gueulard relativement froid. Elles résultent aussi des masses de minerai, incomplètement réduites, qui tombent dans le creuset. Ces minerais produisent alors l'affinage partiel de la fonte, et lui donnent à la surface un aspect inégal, d'apparence rugueuse. Pour terminer ce chapitre, je dirai quelques mots d'une petite notice contenue dans le *Bulletin* de décembre de la Société chimique de Paris, où M. Deshayes rend compte, d'après les *Mémoires* de l'*Iron and Steel Institute*, des expériences faites par M. Snelus de Workington, dans le but

---

(*) L'échauffement du gueulard provient de ce que les gaz suivent les parois et non la colonne centrale. L. G.

de constater la répartition du carbone, du manganèse, du silicium, du soufre, du phosphore, dans les lingots d'acier. Les analyses qu'il donne prouvent la répartition inégale de ces éléments dans les lingots. Le silicium, le soufre, le phosphore, le carbone, le manganèse, se concentrent dans les parties qui restent le plus longtemps fluides, le fer est en excès dans les parties solidifiées les premières.

Les portions centrales du fond du lingot sont plus pures que les portions situées aux angles. Dans le haut, ce sont les parties centrales qui sont les plus impures. La résistance à la traction, l'allongement, la dureté, varient assez notablement entre le haut et le bas du lingot.

Ces faits ont donc une certaine analogie avec la répartition des éléments impurs dans les fontes.

Nous allons donner la description de quelques variétés de laitiers, qui se produisent souvent dans la fabrication des fontes de moulage avec les minerais oolithiques.

Ces variétés de laitiers, dont nous allons parler, sont dues généralement à la même cause que les fontes à peau rugueuse dont il vient d'être question; souvent même les deux effets se produisent en même temps.

On sait que les laitiers obtenus dans la fabrication de fontes de moulage noires sont en général blancs ou gris. Or, sans que rien ne paraisse changé à l'allure, il arrive parfois que les laitiers, tout en conservant à peu près la même composition chimique, changent complètement d'aspect.

Le laitier peut rester gris ou blanc à l'intérieur et devenir noir à la surface. Quelquefois, toute la masse du laitier est noire, quoiqu'il s'y trouve très peu de fer; il ressemble alors complètement à un laitier basique d'affinage.

L'analyse de ces laitiers nous indique une bonne composition, comme allure de moulage, et cependant les fontes produites ne sont généralement que des numéros inférieurs. Voici l'analyse d'un laitier de cette espèce :

SiO_2	34,98	p. 100
Al_2O_3	14,91	—
CaO	45,60	—
MgO	1,26	—
S	0,85	—
Mn	0,20	—
Fe	1,18	—
Oxygène et divers	1,02	—

Mais la fonte obtenue n'est que du n° 5 et 6 ayant la composition moyenne suivante :

Si	1,45	p. 100
S	0,02	—
Ph	2,10	—
Graphite	2,47	—

Dans l'analyse des laitiers nous supposons le fer et le manganèse plus ou moins sulfuré, mais une partie du fer doit être oxydé, et une partie du soufre uni au calcium.

Souvent ces laitiers à surface noire sont boursouflés comme une pierre ponce vers le haut, quoique encore assez denses vers le bas. Les cavités vont en augmentant de bas en haut; quelquefois ces cavités ont des dimensions très grandes et ressemblent aux alvéoles d'une ruche d'abeilles.

Les grandes cavités, vues à la loupe, paraissent tapissées à l'intérieur de petits cristaux.

Ces alvéoles sont évidemment dues au dégagement assez abondant d'un gaz. Quelle est la nature de ce gaz? Dans quelques morceaux de laitiers contenant de petits globules de fonte, leur surface était rouge foncé, ce qui proviendrait de l'oxydation du fer. Le gaz contenu dans le laitier serait donc oxydant.

La *fig.* 14, Pl. IX, montre la structure, en coupe, d'un morceau de laitier de 10 à 15 centimètres d'épaisseur, dont la croûte est plus ou moins boursouflée. La partie supérieure se détache, après refroidissement, suivant la ligne AB.

a. Epaisseur 1/2 à 1mm. Couleur noire foncée.
b. — 8 à 10mm. Petites bulles; couleur gris noir.
c. — 10 mm. Bulles assez grosses; couleur gris noir.
d. Partie inférieure. Compacte; couleur gris foncé.

Nous n'avons pu réussir à détacher séparément la croûte noire, pour en faire l'analyse à part. Mais en plongeant la partie haute d'un de ces morceaux dans un vase de Berlin, contenant du brome et de l'acide chlorhydrique chauffés, nous avons trouvé que la partie dissoute contenait plus de soufre, et plus de fer que la moyenne du morceau.

Cependant la quantité de fer contenue dans ces laitiers noirs n'est guère plus élevée que dans les laitiers entièrement blancs. Si l'on plonge un morceau de ces laitiers noirs dans de l'acide chlorhydrique dilué, il blanchit de suite, et le dégagement d'hydrogène sulfuré est abondant.

Les laitiers qui ont la surface ou toute leur masse noire ne sont pas toujours bulleux, comme l'échantillon dont nous venons de donner la description. Ils restent quelquefois compacts, avec de petites bulles de 1/2 millim. de diamètre et moins. Cela doit dépendre de la quantité de gaz qui se dégage des laitiers, et de la température qu'ils possèdent.

Voici l'analyse d'un laitier dont la partie inférieure est grise compacte; la partie supérieure grise jaunâtre, et la surface, entièrement noire foncée.

SiO_2	35,17	p. 100
Al_2O_3	18,08	—
CaO	43,12	—
MgO	1,02	—
S	0,67	—
Mn	0,24	—
A reporter	98,30	p. 100

Report	98,30	p. 100
Fer	1,18	—
Oxygène et divers	0,52	—
	100,00	

Ce laitier accompagnait des fontes nos 5 et 6. L'échantillon suivant, assez bulleux, gris, et à surface noire foncée, était associé à des fontes nos 2 et 3.

SiO_2	35,40	p. 100
Al_2O_3	14,91	—
CaO	46,60	—
MgO	0,45	—
S	0,70	—
Mn	0,22	—
Fer	1,10	—
Oxygène et divers	0,62	—
	100,00	

Un échantillon entièrement noir, compact, ne présentant que de très petites cellules, mais ayant tout à fait l'aspect d'une scorie d'affinage, nous a donné la composition suivante :

SiO_2	36,17
Al_2O_3	15,37
CaO	44,68
MgO	0,75
S	0,67
Mn	0,28
Fer	1,43
Oxygène et divers	0,65

Ces laitiers noirs correspondent toujours à des fontes truitées ou blanches. Ils se produisent quelquefois brusquement et persistent tantôt pendant plusieurs jours, et parfois pendant quelques heures seulement.

Nous avons soumis ces faits et observations à M. Gruner, en lui demandant son opinion sur les causes qui produisent

ces singuliers effets, et nous résumons dans les lignes qui vont suivre son intéressante communication à ce sujet :

« Voici, je crois, la cause de la production des laitiers, « dont il est question. J'ai observé de pareils faits à Beau- « caire, où les hauts fourneaux marchent pour fonte « Bessemer.

« Les silicates basiques (contenant plus de base que les « protosilicates) ont la propriété de dissoudre les sulfures. « C'est ainsi que les laitiers à excès de chaux dissolvent « du sulfure de calcium, de manganèse et de fer; et les « silicates basiques de fer (les scories des usines à plomb, « argent et cuivre), des sulfures de fer, zinc, plomb et « argent. C'est l'une des causes des pertes constatées dans « le traitement des minerais de plomb et d'argent.

« Lorsque, au haut fourneau, on marche à grand excès « de chaux, pour avoir une fonte Bessemer noire, riche en « manganèse, les laitiers sont blancs, très fluides au pre- « mier instant, mais *courts*, comme tous les silicates à excès « de bases. Eh bien, si par inattention, ou toute autre « cause, la pression du vent baisse brusquement, on « obtient des laitiers pareils à ceux dont vous venez de « parler et souvent aussi partiellement noirs. En même « temps les fontes sont alors moins chaudes.

« La diminution de pression rapproche la zone de fusion « des parois du four; les dépôts, précédemment formés « au-dessus des tuyères fondent et se détachent; il se « produit des chutes de minerais à demi réduits.

« L'oxyde de fer réagit sur le sulfure de calcium; il se « forme de la chaux, du sulfure de fer et de l'acide sulfureux « qui produit les bulles dont vous m'avez parlé. D'autre « part, une faible proportion du sulfure de fer ainsi formé « suffit pour noircir le silicate basique. De là vient que, « sans changement apparent de composition, le laitier « prend néanmoins une autre apparence.

« Le même effet se produit lorsque le minerai tamise, ou

« lorsque la colonne centrale se réduit imparfaitement « dans les régions supérieures. C'est ce qui arrive dans les « fourneaux larges du ventre ou à trop faible pression de « vent. Les gaz montent alors par les zones (*cd*) (*ef*) (*fig.* 15, « Pl. IX), tandis qu'au centre une colonne (*ab*) se compose « de minerai mal réduit, parce que les gaz n'y pénètrent pas.

« Dans la marche ordinaire cette colonne descend « cependant graduellement, et le minerai se réduit en (*b*) « sous l'influence du carbone solide. Alors, à part une « consommation plus forte, l'allure est encore régulière. « Mais s'il survient un changement de pression, ou tout « autre accident inaccoutumé, la descente régulière fait « place à des chutes en bloc; le minerai mal réduit réagit « à la fois sur la fonte et le laitier. Il y a affinage et déga- « gement d'acide sulfureux par la réaction de l'oxyde de « fer sur le silicium et le sulfure de calcium des laitiers. « Dans ce cas, le dérangement n'est pas dû au tamisage « proprement dit, mais à la forme trop trapue des hauts « fourneaux, et à la trop faible pression du vent, qui ne « pousse pas le gaz jusqu'au cœur même de la colonne « centrale. »

Dans les lignes qui précèdent, M. Gruner doit avoir indiqué exactement la cause des effets, dont il a été question précédemment. Ce qui est bien certain, c'est que dans un tamisage de minerai bien accentué, on remarque immédiatement la production des laitiers noirs et des fontes à peau rugueuse.

La réaction du minerai imparfaitement réduit sur le sulfure de calcium explique parfaitement l'état bulleux des laitiers, et leur coloration en noir. A la coulée, on reconnaît d'ailleurs très bien la présence de l'acide sulfureux. Plus ce gaz est abondant, et plus aussi les laitiers sont bulleux.

Avec certaines minettes silicieuses, peu cimentées, il est

presque impossible d'éviter le tamisage; les minerais chauffés au rouge s'écrasent, se réduisent en poudre et coulent comme de l'eau. Le silicate de fer, qui se produit alors dans la région de fusion, rend la réduction plus difficile.

Le mal ne serait cependant pas très grand, si le laitier seul était transformé; mais, dans certains cas, l'affinage de la fonte par le minerai non réduit est tellement prononcé, qu'en allure chaude la fonte peut devenir blanche. Le graphite, dans ce cas, est complètement brûlé ou redissout. C'est l'effet qui se produit dans un cubilot, lorsqu'on ajoute à la fonte un peu d'hématite rouge. On peut facilement diminuer ainsi la proportion de carbone de 30 p. 100, et celle du silicium de 60 p. 100.

Nous ajouterons qu'un mauvais chargement, en donnant lieu à des descentes obliques, favorise également les fâcheux effets dont je viens de parler; et que ces inconvénients sont plus faciles à éviter, avec des hauts fourneaux de moyennes dimensions, qu'avec des fourneaux d'un trop grand volume.

Marchiennes, décembre 1881.

TAMBOURS SPIRALOÏDES

POUR

LES CABLES D'ÉGALE RÉSISTANCE

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, ingénieur en chef des mines,
professeur d'exploitation à l'École des mines.

§ 1

Propriétés générales.

1. — Parmi les moyens qui ont été proposés pour obtenir la régularisation de l'extraction dans les puits de mines, c'est-à-dire pour assurer la constance du moment de la résistance à vaincre, l'un des plus récents consiste dans l'emploi de tambours spiraloïdes dont on détermine le profil de manière que le rayon d'enroulement se modifie à chaque tour en raison inverse du poids, variable avec la longueur du câble.

La plupart du temps on construit ces appareils par approximation, et cependant il est possible d'apporter à cette détermination une véritable rigueur. Déjà Gerstner, dans son ouvrage intitulé *Handbuch der Mechanik*, a donné le profil relatif à l'emploi d'un câble de section uniforme, et M. Dwelshauvers-Dery, par une analyse élégante, a retrouvé le même résultat (*). Mais « ces intéressantes recherches ne sont pas applicables au cas d'un câble com-

(*) *Revue universelle des mines et des usines*, par Cuyper, 1re série, tome XXXI.

posé de mises cylindriques successives ou d'un câble continuellement décroissant. L'on tombe alors dans des calculs et des intégrales très compliqués. » C'est ainsi que s'exprime M. Jules Havrez dans une étude où il se propose de déterminer numériquement le tambour relatif à un câble variable composé de sept mises de 100 mètres (*).

J'ai cherché à combler cette lacune, et c'est l'objet du présent travail. Pour lui donner une exactitude définitive au point de vue théorique, j'y envisage la forme rigoureuse du câble d'égale résistance, dont le profil est, comme on sait, celui d'une logarithmique. Dans la pratique courante, les constructeurs le remplacent jusqu'ici par le câble conique, en supprimant à des intervalles constants un fil dans le misage. Il ne paraît pas impossible d'admettre que les progrès de cette fabrication permettent un jour d'effectuer cette suppression à des intervalles convenablement variés, de manière à obtenir la forme exacte du câble d'égale résistance. D'ailleurs, le tambour que nous déterminerons ainsi en rigueur, s'adaptera à l'emploi du câble conique ordinaire avec l'approximation même que celui-ci réalise par rapport à la forme idéale et dont on se contente jusqu'ici ; tandis que les calculs fondés sur l'hypothèse d'un diamètre constant sont absolument inadmissibles en ce qui concerne le câble diminué.

Je diviserai cette étude en deux parties distinctes. La première renfermera les *propriétés générales* de tout système d'extraction d'équilibre rigoureux, *quelle que soit la forme de son câble;* que celui-ci soit cylindrique d'un bout à l'autre ou formé de mises cylindriques différentes, qu'il soit logarithmique, conique, ou de telle forme que l'on voudrait même imaginer d'une manière absolument arbitraire et sans qu'elle fût motivée par aucune raison de

---

(*) Notice sur les progrès réalisés dans les machines d'extraction (*Revue universelle*, etc., 1re série, tome XXXIII, page 125).

pratique usuelle. Ces énoncés, absolument généraux sous ce rapport, seront en même temps fort simples. Une seconde partie servira à baser sur ces principes généraux la solution complète de la détermination du profil pour le cas le plus typique de tous, celui du câble d'égale résistance, c'est-à-dire de la forme logarithmique.

2. — Le tambour se compose de deux parties, qui sont symétriques par rapport à un plan médiant mené perpendiculairement à son axe (*fig.* 16, Pl. IX). Sur toutes les deux s'enroulent des câbles qui pendent de deux côtés opposés, de manière qu'une rotation quelconque ait pour résultat d'allonger l'un d'eux en raccourcissant l'autre. Aux extrémités de la rotation, l'un des câbles se trouve entièrement rectiligne et l'autre complètement enroulé sur sa travée. Ces deux câbles, à partir de leur point d'attache sur le treuil jusqu'à leur autre extrémité, sont, bien entendu, identiques l'un à l'autre, mais *nous laissons leur forme absolument arbitraire*, sans même, ainsi que je l'ai dit plus haut, avoir besoin, dans cette première partie, de la supposer rattachée par des liens rationnels quelconques aux circonstances de l'extraction qui intéressent le praticien, et tout comme s'il s'agissait d'abord d'une recherche de pure curiosité. J'insiste sur ce point, qui donne à ces propriétés un caractère de grande généralité et les rend applicables à toutes les recherches de vraie pratique que l'on voudra entreprendre.

Il vient un moment, où, à force de raccourcir l'un des câbles en allongeant l'autre, on les rend égaux. C'est l'*instant de la rencontre*. Il établit une symétrie, non pas entre les deux moitiés du mouvement d'un des câbles, mais dans l'ensemble du phénomène, quel que soit celui des deux câbles que l'on va, à partir de cet instant envisagé dans l'état de repos, considérer comme montant, tandis que l'autre descendra. Nous prendrons, pour cette raison, cette situa-

tion comme point de départ pour y rapporter toutes les autres. C'est donc à partir de cet instant que nous compterons les révolutions, en désignant par n le nombre de tours, entier, fractionnaire ou incommensurable et variant d'une manière continue. En attachant la pensée à celui des deux câbles qui est actuellement chargé de houille, et qui par suite monte au jour, nous compterons positivement les valeurs de n qui rapprochent sa cage de la recette extérieure, et négativement celles qui la placent au-dessous de la rencontre.

Pour mener la cage pleine, de la rencontre à la surface, il faut, d'après la symétrie, autant de tours de l'arbre que pour y conduire, par une rotation inverse, la cage vide, et par suite que pour descendre la cage pleine au fond, puisqu'elle s'y trouve en même temps que la cage vide est à l'orifice du puits. Donc l'*instant de la rencontre se trouve nécessairement au milieu de la révolution* (*). D'après cela, si nous désignons par 2N le nombre total de tours (entier ou fractionnaire), n variera de $-N$ à $+N$ pendant cet intervalle, à savoir : de 0 à $+N$ pour conduire la cage pleine de la rencontre au jour, et de 0 à $-N$ pour la descendre au fond.

Nous appellerons à chaque instant Y_n l'ordonnée du profil du tambour, c'est-à-dire le rayon d'enroulement du câble au bout de n tours. Les rayons des circonférences extrêmes du treuil seront d'après cela désignés par Y_N et Y_{-N}. On aura d'ailleurs

$$Y_N > Y_{-N},$$

car c'est en arrivant au jour, par les valeurs positives de n, qu'on doit avoir les plus grands bras de levier pour compenser dans la valeur du moment constant la diminution progressive du poids de la portion pendante du câble. Nous

(*) Mais non de la hauteur, comme nous le verrons plus loin.

désignerons en outre par R le rayon du treuil à l'instant de la rencontre.

Nous marquerons par H la profondeur totale du puits, h_n sera la portion *rectiligne* de câble qui se détache du treuil perpendiculairement au rayon d'enroulement Y_n. On aura, d'après cela, en arrivant au jour

(1) $$h_N = 0,$$

et au fond

(2) $$h_{-N} = H.$$

h_0, c'est-à-dire la *profondeur de la rencontre*, reste provisoirement inconnue, comme son rayon d'enroulement R. Il est cependant facile de voir dès à présent que l'on a nécessairement

$$h_0 > \frac{H}{2},$$

ou que *la rencontre se produit toujours au-dessous du milieu de la hauteur du puits*. En effet, il faut, à partir de la rencontre, le même nombre N de tours pour envoyer la cage au jour ou au fond. Mais ceux qui la conduisent à la surface s'effectuent avec des rayons de plus en plus grands, tandis que ceux qui la mèneraient au fond se feraient avec des diamètres décroissants. La somme des circonférences déroulées depuis l'orifice jusqu'à la rencontre forme donc un total supérieur à celui qu'il reste à dérouler à partir de ce point pour atteindre la recette inférieure.

Nous appellerons Q le poids utile, c'est-à-dire celui de la houille renfermée dans une cage, et q le poids mort de la cage avec ses wagonnets. L'enlevage sera donc pour le câble chargé $Q + q$. Quant à la fatigue statique de l'axe du tambour, elle a pour valeur $Q + 2q$ augmenté du poids total $2P$ des deux câbles, quelle qu'en soit à chaque instant la portion verticale ou enroulée.

Le moment dynamique dépend au contraire de cette va-

riation. Il se réduit, pour l'instant de la rencontre, au moment QR du poids du combustible. En effet, les deux câbles étant alors parfaitement identiques comme longueur, comme forme et comme bras de levier, ils s'équilibrent mutuellement, ainsi que les poids morts q qu'ils supportent. L'objet essentiel du problème qui nous occupe étant d'ailleurs de réaliser pour chaque instant la constance absolue de la somme algébrique des moments des forces par rapport à l'axe du treuil, on voit que cette somme devra rester toujours égale à QR. Occupons-nous donc de poser cette équation fondamentale.

3. — Au $n^{ième}$ tour, la charge $Q + q$ se trouve suspendue à l'extrémité d'une longueur h_n de câble, dont je représenterai le poids par p_n. On a donc de ce côté le moment $(Q + q + p_n) Y_n$. La cage vide q se trouve en même temps dans une position désignée par la valeur $-n$ de sa propre rotation et par suite suspendue à un câble de longueur h_{-n} et de poids p_{-n}. Son rayon d'attache ayant d'ailleurs actuellement la valeur Y_{-n}, cette partie a un moment négatif égal, sauf le signe, à $(q + p_{-n}) Y_{-n}$. Il vient par conséquent pour l'ensemble

$$(Q + q + p_n)Y_n - (q + p_{-n})Y_{-n} = QR. \tag{3}$$

Nous pouvons immédiatement déduire de là une conséquence importante. Écrivons, en effet, cette équation pour l'instant symétrique du précédent. Les deux cages échangeant réciproquement leurs situations dans le puits, le nombre de révolutions aura alors pour valeur $-n$, ce qui donne

$$(Q + q + p_{-n})Y_{-n} - (q + p_n)Y_n = QR.$$

L'ensemble de ces deux relations reproduit, comme on voit, les mêmes termes avec des signes contraires, à l'exception de ceux qui renferment Q. Si donc on ajoute, il reste, en divisant par Q

$$Y_n + Y_{-n} = 2R. \tag{4}$$

On voit ainsi que *chaque rayon d'enroulement gagne perpétuellement ce que perd l'autre.* En d'autres termes, *la moyenne arithmétique des rayons d'enroulement simultanés reste invariable.* Il est naturel d'après cela que la valeur de cette moyenne soit le rayon à la rencontre, que nous appellerons pour cette raison le *rayon moyen*, et qui se trouve ainsi déterminé par la relation

$$(5)\qquad Y_N + Y_{-N} = 2R.$$

4. — Supposons que la partie rectiligne du câble chargé soit actuellement celle qui occuperait la longueur AM sur le tambour, si on y complétait son enroulement, (*fig.* 17, Pl. IX). Il aura pour bras de levier actuel Mm. Le câble de la cage vide se trouve au contraire enroulé en même temps sur une longueur égale A'M' (*)

$$AM = A'M',$$

et il a pour rayon d'enroulement M'm'. L'équation (4) prend donc la forme

$$Mm + M'm' = \text{const.} = Aa + A'a'.$$

Portons en aA_1 et mM_1 en prolongement des ordonnées Aa et Mm leurs ordonnées conjuguées A'a' et M'm'. La dernière formule pourra s'écrire alors

$$Mm + mM_1 = Aa + aA_1,$$

c'est-à-dire

$$MM_1 = AA_1.$$

Il s'ensuit que le lieu géométrique des extrémités M_1 est la

(*) En effet le nombre des révolutions est le même, puisqu'elles sont simultanées. De plus nous supposons, bien entendu, que quelle que soit l'épaisseur du câble, dont la loi reste quelconque, les spires refouillées dans la masse du tambour pour l'y loger sont espacées d'une manière équidistante en projection sur l'axe.

ligne droite A_1B_1 parallèle à l'axe du tambour. La figure $A_1M_1B_1$ *amb* est par suite identique et superposable à A'M'B' *a'm'b'*, et l'on peut dire que *les deux contours* Aa*Bb* *et* A'*a'* B'*b'* *sont complémentaires et forment par leur ensemble le rectangle* AA_1BB_1 *quand on les rabat l'un sur l'autre.*

Cette circonstance montre notamment que *le profil du tambour d'équilibre présente nécessairement un point d'inflexion i.* En effet, si la courbe *a'm'* tourne sa concavité vers l'axe A'M' en partant de l'extrémité A', il faut, pour la symétrie des travées par rapport au milieu K du tambour total, que l'axe *bi* présente de même sa concavité à l'axe BI en s'éloignant de B. Mais alors *bi* tourne par cela seul sa convexité à la droite B_1I_1. D'ailleurs, la figure B'I'*b'i'* étant identique à B_1I_1*bi*, cela montre que *b'i'* est convexe vers B'I'. Ainsi donc le profil *a'i'b'*, d'abord concave en *a'*, finit par être convexe en *b'*. Il a dû par conséquent dans l'intervalle subir une inflexion.

5. — La relation (4) fournit encore une conséquence importante. Il vient, en la multipliant par la vitesse angulaire ω de la rotation

$$Y_n \omega + Y_{-n} \omega = 2R\omega,$$

c'est-à-dire, si l'on désigne par v_n et v_{-n} les vitesses des cages dans les positions considérées

$$v_n + v_{-n} = 2R\omega.$$

On voit d'après cela que *ce qu'une cage gagne en vitesse à chaque instant, l'autre le perd exactement;* ou encore que *la moyenne arithmétique des vitesses simultanées des deux cages reste constante et égale à la vitesse à la rencontre.*

Ces vitesses ont d'ailleurs pour expressions algébriques $-\frac{dh_n}{dt}$ et $+\frac{dh_{-n}}{dt}$, car la cage pleine se dirige vers le jour

en diminuant sa distance h_n, tandis que l'autre descend par allongement de son câble h_{-n}. Il vient donc en remplaçant également ω en fonction de l'angle de rotation $2n\pi$

$$\frac{dh_{-n}}{dt} - \frac{dh_n}{dt} = 2R\,\frac{d(2n\pi)}{dt},$$

et, en intégrant,

$$h_{-n} - h_n = 4n\pi R + \text{const.}$$

Remarquons d'ailleurs que la cage vide se trouve au-dessous de la rencontre, à la distance h_{-n} du jour, tandis que la cage pleine est supposée au-dessus, dans la position h_n. La différence $h_{-n} - h_n$ représente donc la distance actuelle des cages. Comme en outre cette distance s'annule à la rencontre en même temps que n, on voit que la constante d'intégration est nulle et que l'équation se réduit à

(6) $$h_{-n} - h_n = 4n\pi R.$$

D'où ce théorème : *la distance des cages varie proportionnellement à l'angle décrit par l'arbre de la machine.*

6. — On aura en particulier aux extrémités, pour $n = N$

$$h_{-N} - h_N = 4N\pi R,$$

ou d'après (1) et (2)

$$H = 4N\pi R.$$

On tire de là

(7) $$N = \frac{H}{4\pi R},$$

ce qui donne pour le nombre total de tours $2N$

$$2N = \frac{H}{2\pi R}.$$

Ainsi *le nombre de tours du tambour spiraloïde est celui qui serait nécessaire pour enrouler la totalité du câble sur*

treuil CYLINDRIQUE *qui serait construit avec le rayon moyen.*

Telles sont les propriétés, remarquables par leur simplicité, que présente tout tambour d'équilibre, *quelle que soit la constitution de son câble.*

§ 2

Câble logarithmique.

7. — Commençons par former rapidement avec nos notations l'équation bien connue du câble d'égale résistance. En le supposant entièrement déroulé en AB (*fig.* 18, Pl. IX,) il supporte l'enlevage par sa patte A et se trouve encastré en B à sa partie supérieure. Quand, par suite de l'enroulement de la partie BM, il se détache tangentiellement du treuil en M, de telle sorte que la portion AM $= h$ reste seule pendante, il a alors pour rayon r. Les valeurs extrêmes de ce rayon aux extrémités A et B seront désignées par a et b.

Soit ρ la résistance spécifique *pratique* par mètre carré qu'on demande à la substance dont est formé le câble. J'appelle de même δ son poids spécifique *par mètre cube apparent* après misage. La section M, que je représente par Ω, offrira la résistance $\rho\Omega$ et devra supporter le poids $Q + q$ de l'enlevage, plus celui du tronçon AM, d'où l'équation

$$\rho\Omega = Q + q + \delta \int_0^h \Omega\, dh,$$

et, en différentiant

$$\rho d\Omega = \delta\Omega\, dh,$$

$$\frac{d\Omega}{\Omega} = \frac{\delta}{\rho}\, dh,$$

$$L\Omega = \frac{\delta}{\rho}\, h + L\Omega_0,$$

en marquant par la caractéristique L les logarithmes népé-

riens et par Ω_0 la section en A qui correspond à $h = o$. On tire de là

$$\Omega = \Omega_0 e^{\frac{\delta}{\rho} h}.$$

Mais d'ailleurs

$$\Omega = \pi r^2, \quad \Omega_0 = \pi a^2,$$

vient par suite, en extrayant les racines

$$r = a e^{\frac{\delta}{2\rho} h}.$$

Il sera facile dans chaque cas de déduire la valeur de a de celle de l'enlevage. En effet, la section inférieure πa^2 devant supporter directement le poids de la cage pleine $Q + q$, on posera

$$\pi a^2 \rho = Q + q,$$

d'où

$$a = \sqrt{\frac{Q+q}{\pi\rho}}.$$

On a en particulier au sommet B, pour $h = H$

$$b = a e^{\frac{\delta}{2\rho} H}.$$

Connaissant ainsi le rapport des rayons extrêmes que je désignerai par α

(8) $$\alpha = \frac{b}{a} = e^{\frac{\delta}{2\rho} H},$$

nous en déduirons

$$e^{\frac{\delta}{2\rho}} = \alpha^{\frac{1}{H}},$$

ce qui permettra de mettre l'équation du câble sous cette forme plus simple

(9) $$r = a \alpha^{\frac{h}{H}}.$$

8. — On peut déduire de là le poids p de la travée h

$$p = \delta \int_0^h \pi r^2 dh = \delta\pi a^2 \int_0^h \alpha^{\frac{2h}{H}} dh,$$

ou, en effectuant

$$p_n = \frac{\delta\pi a^2 H}{2L\alpha}\left(\alpha^{\frac{2h_n}{H}} - 1\right).$$

Nous aurons en particulier pour le poids total P ou p_{-N} du câble (2)

$$\text{(10)} \qquad P = \frac{\delta\pi a^2 H(\alpha^2 - 1)}{2L\alpha}.$$

Pour obtenir de même le poids p_{-n} du second câble à chaque instant de l'enroulement, il suffira de remplacer h_n par h_{-n}, c'est-à-dire d'après l'équation (6) par $h_n + 4n\pi R$. Il vient ainsi

$$p_{-n} = \frac{\delta\pi a^2 H}{2L\alpha}\left(\alpha^{\frac{2h_n + 8n\pi R}{H}} - 1\right).$$

Pour simplifier les écritures, nous introduirons l'abréviation suivante

$$\text{(11)} \qquad \beta = \alpha^{\frac{8\pi R}{H}},$$

d'où l'on tire

$$\frac{H}{2L\alpha} = \frac{4\pi R}{L\beta}.$$

Il vient d'après cela

$$\text{(12)} \qquad p_n = \frac{4\delta\pi^2 a^2 R}{L\beta}\left(\beta^{\frac{h_n}{4\pi R}} - 1\right),$$

$$\text{(13)} \qquad p_{-n} = \frac{4\delta\pi^2 a^2 R}{L\beta}\left(\beta^{\frac{h_n}{4\pi R} + n} - 1\right).$$

§ 3

Équation différentielle du profil du tambour.

9. — Reprenons l'équation d'équilibre (3) et remplaçons-y Y_{-n} par sa valeur $2R - Y_n$ (4), elle deviendra

$$(Q + q + p_n)Y_n - (q + p_{-n})(2R - Y_n) = QR,$$

ou, en réduisant

$$p_n Y_n + p_{-n}(Y_n - 2R) + (Q + 2q)(Y_n - R) = 0.$$

Substituons maintenant les valeurs (12) et (13) des poids

$$\left(\beta^{\frac{h_n}{4\pi R}} - 1\right) Y_n + \left(\beta^{\frac{h_n}{4\pi R}+n} - 1\right)(Y_n - 2R) + \frac{(Q + 2q)L\beta}{4\delta\pi^2 a^2 R}(Y_n - R) = 0.$$

On en tire

$$[Y_n + (Y_n - 2R)\beta^n]\beta^{\frac{h_n}{4\pi R}} + \left(\frac{Q + 2q}{4\delta\pi^2 a^2 R} - 2\right)(Y_n - R) = 0,$$

et, en résolvant par rapport à h_n

$$\beta^{\frac{h_n}{4\pi R}} = \frac{\left(2 - \frac{Q + 2q}{4\delta\pi^2 a^2 R}\right)(Y_n - R)}{(\beta^n + 1)Y_n - 2R\beta^n}.$$

Pour simplifier cette équation, employons les variables auxiliaires

$$(14) \qquad y = \frac{Y}{R}, \quad z = \beta^n.$$

Elle deviendra par là

$$(15) \qquad \beta^{\frac{h}{4\pi R}} = \left(2 - \frac{Q + 2q}{4\delta\pi^2 a^2 R}\right)\frac{y - 1}{(z + 1)y - 2z}.$$

Prenons les logarithmes népériens des deux membres et

différencions, la constante disparaîtra et il restera seulement

$$\text{(16)}\qquad \frac{L\beta}{4\pi R}\, dh = \frac{dy}{y-1} - \frac{(z+1)dy + (y-2)dz}{(z+1)y - 2z}.$$

Du reste, *dh* représente en valeur absolue le raccourcissement du câble. Il est donc égal, sauf le signe, à l'arc enroulé qui a pour rayon Y ou Ry, et pour angle au centre $d\,(2n\pi)$

$$dh = -2\pi R y dn.$$

Mais on a aussi, en différenciant le logarithme de z (14)

$$\frac{dz}{z} = dn L\beta,$$

d'où, en multipliant en croix

$$\frac{L\beta}{2\pi R}\, dh = -\frac{y}{z} dz.$$

L'équation (16) devient par là

$$\frac{y}{z}\, dz + \frac{dy}{y-1} - \frac{(z+1)\,dy + (y-2)\,dz}{(z+1)y - 2z} = 0$$

Si cette relation était intégrée entre y et z, (c'est-à-dire entre $\frac{Y}{R}$ et β, ou $\beta^{\frac{X}{i}}$, en appelant X l'abscisse et i l'intervalle équidistant des rainures), elle fournirait entre X et Y l'équation cartésienne de la courbe méridienne du tambour, et la question serait définitivement résolue. Malheureusement cette formule paraît rebelle à toutes les méthodes en usage pour l'intégration des équations différentielles. J'ai donc dû, en raison de cet obstacle, changer de voie pour arriver à la détermination exacte du profil du tambour, et j'y suis parvenu de la manière suivante. Il n'en était pas moins intéressant de montrer que nous sommes dès à présent en possession de l'équation différentielle de cette courbe.

§ 4

Équation aux différences finies du profil du tambour.

10. — La seule utilité qu'aurait pour le constructeur l'équation de la courbe serait de fournir les ordonnées des divers points d'insertion des spires successives. Par suite, tout moyen qui arrivera à ce résultat aura la même valeur pour le praticien. Or, il suffirait pour cela d'avoir l'équation aux différences finies du profil pour en déduire de proche en proche chaque ordonnée en fonction de la précédente. C'est ce que nous allons entreprendre.

Reprenons à cet effet l'équation (15) sous la forme

$$\beta^{\frac{h_n}{4\pi R}} = \left(2 - \frac{Q + 2q}{4\delta\pi^2 a^2 R}\right) \frac{y_n - 1}{(\beta^n + 1) y_n - 2\beta^n},$$

et changeons n en $n+1$

$$\beta^{\frac{h_{n+1}}{4\pi R}} = \left(2 - \frac{Q + 2q}{4\delta\pi^2 a^2 R}\right) \frac{y_{n+1} - 1}{(\beta^{n+1} + 1) y_{n+1} - 2\beta^{n+1}}$$

Divisons membre à membre

$$\beta^{\frac{h_n - h_{n+1}}{4\pi R}} = \frac{y_n - 1}{y_{n+1} - 1} \quad \frac{(\beta^{n+1} + 1) y_{n+1} - 2\beta^{n+1}}{(\beta^n + 1) y_n - 2\beta^n}.$$

Mais d'ailleurs $h_n - h_{n+1}$ représente le raccourcissement que subit le câble h_n pour une révolution de l'arbre qui enroule une spire de plus. Celle-ci peut être assimilée à la circonférence de rayon actuel Y_n ou Ry_n. Elle ne présente en effet qu'une très faible obliquité, d'après la disproportion qui existe entre le petit intervalle i des spires et les énormes rayons de ce genre de tambours ; et cette approximation, toujours employée par tous les auteurs qui se sont occupés des appareils d'extraction, se trouve ici placée

dans des conditions encore plus exactes qu'à l'ordinaire. Il vient ainsi

$$h_n - h_{n+1} = 2\pi R y_n, \tag{17}$$

et la formule devient

$$\beta^{\frac{y_n}{2}} = \frac{y_n - 1}{y_{n+1} - 1}\,\frac{(\beta^{n+1} + 1)\,y_{n+1} - 2\beta^{n+1}}{(\beta^n + 1)\,y_n - 2\beta^n}, \tag{18}$$

ou, en la résolvant par rapport à y_{n+1}

$$y_{n+1} = \frac{[(\beta^n + 1)\,y_n - 2\beta^n]\,\beta^{\frac{y_n}{2}} - 2\beta^{n+1}(y_n - 1)}{[(\beta^n + 1)\,y_n - 2\beta^n]\,\beta^{\frac{y_n}{2}} - (\beta^{n+1} + 1)(y_n - 1)}. \tag{19}$$

11. — Cette équation aux différences finies résout la question de la détermination du profil du tambour. En effet, elle permettra de déduire du rayon de chaque spire la valeur de celui de la spire suivante, et par conséquent, en partant du rayon minimum Y_{-N} (*), de construire la totalité de la courbe méridienne.

Comme il y a en tout $2N$ spires (**) on aura ainsi $2N + 1$

(*) Dans chaque cas le rayon minimum Y_{-N} sera pris arbitrairement, en ayant seulement égard à la condition limitative de ne pas trop fatiguer le métal par l'enroulement. On en déduira ensuite le rayon moyen R, en exprimant l'égalité des moments à l'instant initial et à celui de la rencontre par la formule

$$(Q + q + P)\,Y_{-N} = QR, \tag{20}$$

dans laquelle tous les éléments sont connus (10).

(**) Cette manière de parler suppose évidemment que N soit un nombre entier. Rien ne serait plus simple que de modifier la rédaction en ce point et dans quelques autres endroits, de manière à laisser à N toute latitude d'être fractionnaire d'après la formule (7); mais je conserverai l'hypothèse de N entier comme plus simple pour les explications et par la raison qu'il est toujours possible de la réaliser si on le préfère. En effet, si l'on suppose que les for-

ordonnées. Mais, d'une part, celle du milieu a pour valeur $y_0 = 1$, et l'une des moitiés du profil se déduit de l'autre par la formule (4)

$$y_n = 2 - y_{-n}.$$

De plus, sur les N ordonnées de cette moitié, la première y_{-N} forme le point de départ arbitraire du calcul. C'est donc seulement $N - 1$ applications de la formule (19) que l'on aura à faire successivement.

On remarquera que si l'on en faisait une $n^{ième}$ après avoir, par les $N - 1$ premières, déduit de y_{-N} les valeurs de

$$y_{-N+1}, \quad y_{-N+2}, \quad \ldots\ldots \quad y_{-2}, \quad y_{-1},$$

l'équation prendrait la forme indéterminée. Mais cette circonstance ne gêne en rien, puisqu'on savait d'avance que la formule est satisfaite pour $n = 0$ et $y = 1$, et que cette connaissance dispense de la $n^{ième}$ application.

12. — Il restera toutefois une dernière correction à faire. En effet, dans les raisonnements précédents, Y_n re-

---

mules (7) et (20) aient donné d'après le choix qui a été fait arbitrairement pour Y_{-N}

$$N = N' + \nu,$$

N' étant un entier et ν une fraction proprement dite, on prendra inversement

$$R' = \frac{H}{4\pi N'},$$

$$Y'_{-N'} = \frac{Q}{Q + q + P} R'.$$

et on adoptera $Y'_{-N'}$ au lieu de Y_{-N}. Comme on a d'ailleurs

$$N' < N, \quad R' > R, \quad Y'_{-N'} > Y_{-N},$$

il s'ensuit que la valeur de $Y'_{-N'}$, à peine différente de celle de Y_{-N}, sera encore plus favorable au point de vue de la fatigue produite par l'enroulement.

présentait le bras de levier des forces de pesanteur par rapport à l'axe du treuil. On doit les considérer comme appliquées suivant l'axe du câble. Il y a donc lieu d'envisager Y_n comme la somme du rayon r_n du câble (9) et du rayon proprement dit η_n du tambour métallique. On aura par suite pour ce dernier

$$\begin{aligned}\eta_n &= Y_n - r_n,\\ &= Y_n - a\alpha^{\frac{h_n}{H}},\\ &= Y_n - a\beta^{\frac{h_n}{8\pi R}}.\end{aligned}$$

Pour y substituer h_n il vient d'ailleurs (17)

$$\begin{aligned}h_{-N} - h_{-N+1} &= 2\pi Y_{-N},\\ h_{-N+1} - h_{-N+2} &= 2\pi Y_{-N+1},\\ &\ldots\ldots\ldots\\ h_{n-1} - h_n &= 2\pi Y_{n-1},\end{aligned}$$

et, en ajoutant

$$h_{-N} - h_n = 2\pi(Y_{-N} + Y_{-N+1} + \ldots + Y_{n-2} + Y_{n-1}),$$

ou enfin (*) d'après la valeur (2)

$$(21)\qquad h_n = H - 2\pi(Y_{-N} + Y_{-N+1} + \ldots + Y_{n-2} + Y_{n-1}).$$

On aura d'après cela

$$(22)\qquad \eta_n = Ry_n - a\beta^{\frac{H}{8\pi R} - \frac{y_{-N}+y_{-N+1}+\ldots+y_{n-2}+y_{n-1}}{4}}.$$

On remarquera que la formule (21) fait connaître en particulier la profondeur de la rencontre

$$h_0 = H - 2\pi(Y_{-1} + Y_{-2} + \ldots + Y_{-N}).$$

La question que nous nous étions proposée se trouve

(*) C'est ici notamment, si N était fractionnaire, qu'il y aurait lieu, en remplaçant $Y_{-N'}$ par H, d'avoir égard à ce que c'est non pas $Y_{-N'}$, mais Y_{-N} qui est vraiment égal à la profondeur du puits et d'ajouter à la somme de circonférences entières l'arc qui résulte de l'angle au centre $2\nu\pi$ avec le rayon extrême $Y_{-N'}$.

ainsi résolue et ramenée à l'application numérique de la relation (19) qui ne saurait plus présenter de difficultés, mais tout au plus des longueurs. Or, nous pouvons abréger considérablement ces dernières en introduisant une approximation qui n'affecte, comme j'aurai soin de le faire voir, aucune des décimales que la pratique la plus exigeante pourrait tenir à conserver dans les évaluations. Les formules que nous allons ainsi simplifier auront donc pour les constructeurs exactement la même valeur d'exactitude que celles que nous venons d'obtenir et dont elles prendront utilement la place.

§ 5

Transformation de l'équation aux différences.

13. — Le moyen à employer consiste à développer l'exponentielle en série que l'on bornera à ses deux premiers termes. Seulement il est essentiel avant tout de nous rendre compte du degré d'exactitude ainsi obtenu.

Or, si l'on remplace une exponentielle A^x par son développement abrégé $1 + x\text{LA}$, on commet une erreur absolue par défaut qui a pour valeur rigoureuse

$$A^x - (1 + x\text{LA}),$$

et une erreur relative

$$\frac{A^x - (1 + x\text{LA})}{A^x},$$

c'est-à-dire

$$1 - (1 + x\text{LA})A^{-x}.$$

Lorsque l'exposant x croît dans une certaine amplitude, la dérivée de cette expression

$$\frac{x(\text{LA})^2}{A^x}$$

reste positive et par suite la fonction croissante. Elle atteindra donc sa plus grande valeur en même temps que x.

D'après cela, si dans le cas actuel nous remplaçons l'exponentielle $\beta^{\frac{y_n}{2}}$ par l'expression simplifiée $1 + \frac{L\beta}{2} y_n$, l'erreur relative aura sa plus grande valeur pour $n = N$ et sera

$$\varepsilon = 1 - \frac{1 + \frac{L\beta}{2} y_N}{\beta^{\frac{y_N}{2}}}.$$

Pour nous rendre compte de son importance réelle, envisageons l'exemple qui a été traité par M. Jules Havrez dans le travail déjà cité (*). Les valeurs adoptées par lui pour les diamètres extrêmes du câble sont

$$2a = 0^m,0296, \quad 2b = 0,0366,$$

d'où (8)

$$\alpha = \frac{b}{a} = 1,2365.$$

Les diamètres extrêmes du tambour ont pour valeurs

$$2Y_N = 11^m,1000, \quad 2Y_{-N} = 6^m,0000,$$

d'où (5)

$$R = \frac{Y_N + Y_{-N}}{2} = 4^m,2750.$$

La profondeur est égale à

$$H = 700^m,$$

d'où (7)

$$N = \frac{H}{4\pi R} = 13,0270, \quad 2N = 26,0540,$$

(*) *Revue universelle des mines*, etc., 1re série, t. XXXIII, p. 137.

et (11)

$$\beta = \alpha^{\frac{8\pi R}{H}} = 1{,}0331.$$

On en déduit enfin, en effectuant tous les calculs

$$\varepsilon = 0{,}000219 = \frac{1}{4557}.$$

Cette erreur, si elle était commise proportionnellement sur le rayon maximum, qui est de $5^m,55$, l'altérerait d'environ 1 millimètre. Mais elle ne porte même pas proportionnellement sur ce rayon, et, en faisant le calcul complet de son influence, que sa longueur ne me permet pas de détailler ici, je me suis assuré que ce rayon n'est altéré par là que de $1/20^e$ de millimètre environ, c'est-à-dire d'une erreur relative de

$$0{,}0000103.$$

On voit donc bien, comme je l'annonçais tout à l'heure, que les formules que nous allons simplifier par ce procédé doivent être considérées comme absolument équivalentes aux précédentes.

14. — L'équation (18) devient par cette substitution

$$1 + \frac{L\beta}{2} y_n = \frac{y_n - 1}{y_{n+1} - 1} \frac{(\beta^{n+1} + 1) y_{n+1} - 2\beta^{n+1}}{(\beta^n + 1) y_n - 2\beta^n},$$

$$= \frac{y_n - 1}{y_{n+1} + 1} \frac{(\beta^{n+1} + 1)(y_{n+1}) - 1) + (1 - \beta^{n+1})}{(\beta^n + 1)(y_n - 1) + (1 - \beta^n)},$$

$$= \frac{1 + \beta^{n+1} - \dfrac{\beta^{n+1} - 1}{y_{n+1} - 1}}{1 + \beta^n - \dfrac{\beta^n - 1}{y_n - 1}},$$

Prenons comme inconnue auxiliaire

$$(23) \qquad u_n = \frac{\beta^n - 1}{y_n - 1},$$

d'où l'on déduira inversement

$$(24)\qquad y_n = 1 + \frac{\beta^n - 1}{u_n},$$

la formule deviendra par là

$$1 + \frac{L\beta}{2}\left(1 + \frac{\beta^n - 1}{u_n}\right) = \frac{1 + \beta^{n+1} - u_{n+1}}{1 + \beta^n - u_n}$$

et elle donne

$$(25)\qquad u_{n+1} = (\beta - 1)\beta^n - L\beta + \left(1 + \frac{L\beta}{2}\right)u_n + \frac{(1 - \beta^{2n})L\beta}{2u_n}.$$

Telle est l'équation définitive. On n'aura, après s'être donné Y_{-N} et par suite y_{-N} (14), qu'à en déduire u_{-N} (23), puis de proche en proche par l'application de cette formule (25)

$$u_{-N+1},\ u_{-N+2},\ \ldots\ u_{-1}.$$

On en tirera alors (24)

$$y_{-N+1},\ y_{-N+2},\ \ldots\ y_{-1},$$

et enfin (22) les ordonnées

$$\eta_{-N+1},\ \eta_{-N+2},\ \ldots\ \eta_{-1},$$

du profil du tambour.

BULLETIN.

NOTE SUR LA SITUATION DE L'INDUSTRIE MINIÈRE DANS LA PROVINCE DE MURCIE.

Cette province se divise en deux districts miniers principaux, le district de Carthagène et celui de Mazarron.

District de Carthagène. — La sierra de Carthagène produit du minerai de plomb, de zinc, de fer manganésifère, de fer sans manganèse et de fer peroxydé mélangé d'un peu de plomb et d'argent.

Le minerai de plomb se présente généralement en gisements irréguliers, filons, couches, poches, lentilles, etc. Sans être très riche, il est tellement répandu qu'il constitue un des principaux revenus de la contrée. On peut évaluer approximativement le rendement total entre 120 et 130.000 tonnes pour chacune des années 1879, 1880 et 1881, ce qui constituerait une diminution assez sensible sur 1878 où on l'évaluait à 150.000. Cette diminution serait due à la baisse du prix du plomb, qui dure depuis plus de trois ans et par suite de laquelle un certain nombre de concessionnaires ont suspendu leurs exploitations.

La totalité des minerais de plomb du district de Carthagène, une grande partie de celui extrait dans le district de Mazarron et même une certaine quantité provenant de Linarès (province de Jaen) sont fondus dans le cercle de Carthagène soit à l'usine d'Escombreras, soit à celle de Sainte-Lucie appartenant à M. Figueroa, soit à diverses autres fonderies situées dans la sierra et notamment à Portman, à la Union, etc. Ce dernier centre est relié au port de Carthagène par un tramway à vapeur où circulent alternativement des trains de voyageurs et des trains spéciaux de minerai.

Tout le plomb qui sort des usines citées ci-dessus est exporté en France ou en Angleterre, mais principalement en France. J'ai dressé, d'après des documents officiels, le tableau ci-dessous qui donne un aperçu du mouvement de cette exportation de 1875 à 1881 par le port de Carthagène.

EXPORTATION EN	1875-76	1876-77	1877-78	1878-79	1879-80	1880-81
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Plomb argentifère.	18.864,04	29.386,95	22.466,25	22.634,50	24.403,75	19.472,00
— doux	6.448,23	13.566,25	14.594,25	11.514,50	3.817,75	22.416,25
Totaux par exercice	25.312,27	42.953,20	37.060,50	34.149,00	28.221,50	41 888,25

On remarquera en 1880-81 une diminution dans l'exportation du plomb argentifère, une augmentation très accentuée dans l'exportation du plomb doux. Cette augmentation est due, sans doute, en partie à ce que les expéditions pour l'étranger avaient été très faibles en 1879-80; les demandes auront été par suite beaucoup plus considérables l'année suivante. D'un autre côté, le plomb doux étant libre de tout droit d'exportation et le plomb argentifère continuant à être frappé à sa sortie d'Espagne d'un droit de 10 francs par tonne, il n'est pas étonnant que les fondeurs du district tendent à développer les opérations d'affinage qui leur permettent de s'affranchir de cette taxe.

Le nombre des fours à manche et des fours à réverbère en feu pendant ces dernières années aurait été de 90 à 100 pour les fours à manche et de 10 à 12 pour les fours à réverbère.

Il y a dix ou douze ans ce district produisait une quantité considérable de calamine et de blende. Depuis lors les gisements se sont peu à peu épuisés ou appauvris, de sorte que la production a constamment diminué. Il ne reste plus aujourd'hui en activité que quelques mines de blende produisant en moyenne par an de 10 à 12.000 tonnes de minerai dont la presque totalité est exportée en Belgique. Les autres mines sont arrêtées, soit à cause de la faible teneur de leur minerai, soit à cause de la baisse de prix que le zinc a subie également.

Les minerais de fer manganésifères sont très répandus dans la sierra, on les rencontre presque partout en gisements abondants à peu de profondeur ou même à la surface du sol, ce qui rend leur exploitation généralement peu coûteuse. D'après des renseignements qui m'ont été fournis par des personnes compétentes, la production aurait varié pendant les années 1879, 1880 et 1881 entre 500.000 et 600.000 tonnes par an, qui ont été exportées en France, en Angleterre et aux États-Unis. C'est en 1880 que la demande aurait été la plus élevée.

La composition de ce minerai est en moyenne de 15 à 18 p. 100

de manganèse et de 30 à 36 p. 100 de fer, soit en tout 45 à 54 p. 100 de richesse métallique.

Les prix sont très variables, on les établit en raison de la proportion des unités de manganèse et de fer que renferme la tonne de minerai et en prenant pour base 0f,60 à 1 franc par unité de manganèse et 0f,12 à 0f,16 par unité de fer pour chaque tonne mise à bord, le transport à la charge de l'acheteur.

La production du minerai de fer sans manganèse, quoique encore assez importante, est bien inférieure à celle du fer manganésifère. Elle a varié dans ces dernières années entre 100.000 et 150.000 tonnes par an.

La plus grande partie de ce minerai est exportée aux Etats-Unis; l'Angleterre en prend aussi, mais une petite quantité; la France en reçoit très peu.

District de Mazarron. — Ce district est très remarquable par l'abondance de son minerai de plomb argentifère. Les gisements sont réguliers, les filons très puissants et bien réglés, les minerais d'une teneur plus élevée en plomb et en argent, de sorte que les mines de cette contrée paraissent appelées à un avenir plus grand que celles de Carthagène. Les exploitations minières y ont pris depuis 1878, malgré la crise sur le plomb, un développement assez considérable. La production annuelle de minerai y est actuellement de plus de 30.000 tonnes et les travaux d'exploration entrepris récemment amèneront sans doute avant peu des résultats beaucoup plus importants.

Outre la Compagnie d'Escombreras qui y a fait de coûteuses installations, de nombreux concessionnaires commencent à exploiter leurs mines.

On trouve également dans le district de Mazarron des mines de fer, mais de peu d'importance; la principale richesse de ce territoire consiste dans ses gisements de plomb argentifère.

(*Extrait d'un* Rapport du Consul de France à Carthagène, *en date du* 22 *novembre* 1881.)

NOTE SUR LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES DU TUNNEL SOUS-MARIN ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE

Par M. DAUBRÉE, inspecteur général des mines.

Les travaux du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre sont destinés à comprendre trois phases : recherches scientifiques, travaux préparatoires, exécution du tunnel lui-même.

La première phase a été consacrée aux études purement géologiques, qui ont été réalisées par l'exploration minutieuse des côtes française et anglaise, par la reconnaissance exacte et détaillée du fond de la mer dans le détroit, enfin par les sondages faits sur la terre ferme, qui ont vérifié la nature, l'épaisseur et l'inclinaison des couches, et donné une idée approximative de leurs conditions aquifères. Les opérations faites en 1875 et 1876 ont donné lieu au remarquable rapport présenté par MM. Lavalley, administrateur délégué, Larousse, ingénieur hydrographe, Potier et de Lapparent, ingénieurs des mines (*). Les notices et plans correspondants ont figuré à l'Exposition universelle de 1878, et valu à l'Association française un diplôme d'honneur.

Depuis 1879, on est entré dans la deuxième phase. On s'occupe à vérifier les premières données scientifiques et à préparer l'exécution du tunnel lui-même, en expérimentant, sur des galeries à petites sections, des machines et outils susceptibles d'être ultérieurement employés dans un travail vraiment exceptionnel par son importance.

Du côté français, les études géologiques constatent un léger bombement des couches au lieu dit *les Quénocs*. Ce bombement fait que leur inclinaison, qui dans le détroit se dirige vers le N. N. E., se trouve, le long de la falaise du Blanc-Nez, tournée vers le S. E., et que la pente, qui, suivant la première orientation, au voisinage des Quénocs, est d'environ $0^m,05$ par mètre, se trouve, dans la seconde, portée à près de $0^m,09$. Il importait donc de constater dans quelles conditions ce bombement avait pu modifier les conditions physiques des bancs formant la base de la craie de Rouen.

A cet effet, l'Association française a foncé, près de Sangatte, deux puits, d'une profondeur de 86 mètres, qui ont rencontré le gault à 59 mètres au-dessous du zéro hydrographique (plus basses

(*) *Comptes rendus*, t. LXXXIV, p. 1331. 1877.

mers de Calais), adopté pour les cartes sur lesquelles ont été rapportées les explorations géologiques de 1875-1876.

Le fonçage de ces puits, dont l'un a 5m,40 de diamètre, a démontré que toute la craie blanche et la partie supérieure de la craie de Rouen sont très aquifères. Dans un seul des puits, la venue d'eau a dépassé 7.500 litres à la minute. Il ne serait donc pas possible de percer le tunnel dans ces couches, et l'on a dû, par des cuvelages très soignés, isoler les puits de ces couches aquifères.

Au contraire, la base de la craie de Rouen ne laisse passer que très peu d'eau. C'est dans cette partie que le tunnel devra être percé, les études géologiques ayant montré que la couche paraissait se poursuivre, sans discontinuité, ni fracture, de France en Angleterre.

Les eaux pénétrant dans les travaux sont douces et de très bonne qualité ; à la partie supérieure seulement, on a trouvé quelques filets légèrement salés. Néanmoins, la communication des nappes aquifères avec la mer est rendue évidente par l'oscillation du niveau de l'eau dans les puits selon la marée, et par l'affluence toujours plus considérable à marée haute. Cela est d'ailleurs facile à comprendre, toutes les couches aquifères allant affleurer dans le étroit sous la mer.

L'Association française, pour mieux connaître la couche praticable, a commencé au fond des puits des galeries destinées à s'avancer sur la mer, en contournant le bombement déjà signalé des Quénocs.

Dans l'une de ces galeries, située à 55m,20 au-dessous du zéro hydrographique, fonctionnera la perforatrice due au colonel Beaumont, et dans l'autre, la machine inventée par M. Brunton, mécanicien anglais.

Du côté anglais, la Compagnie du South-Eastern-Railway, qui n'a cessé de se tenir en rapport avec l'Association française, en se basant sur les indications géologiques que celle-ci s'est empressée de lui fournir, a commencé à Shakespeare-Cliff, entre Folkestone et Douvres, un puits de 47 mètres de profondeur seulement, tout entier dans la craie de Rouen. Les quinze premiers mètres, situés au-dessus de la mer et sur le bord de la falaise, se trouvent naturellement drainés. Les 32 derniers mètres sont dans la partie qui, peu aquifère du côté français, a été là rencontrée tout à fait imperméable.

Grâce à cette circonstance si heureuse, on a pu commencer au fond du puits, à la cote de 29 mètres au-dessous du zéro hydrographique français, une galerie s'avançant sous la mer en suivant

dans la couche une pente descendante à peu près régulière de 1/80, ou $12^{mm},5$ par mètre.

La couche du côté anglais, un peu plus puissante que du côté français, présente une très grande régularité. Aussi la machine Beaumont, qui a été employée au percement, a pu y tracer facilement une galerie parfaitement cylindrique qui a atteint aujourd'hui plus de 1.800 mètres à partir du puits, dont 1.400 mètres environ sous la haute mer. Sur cette longueur, déjà considérable, il n'y a, pour ainsi dire, aucune venue d'eau.

Dans les bancs qui forment la base de la craie de Rouen, la roche en masse est presque complètement sèche ; elle dégage même de la poussière sous le choc des outils. Les venues d'eau qui y sont observées ont toutes le caractère de petites sources sortant des joints de fracture ou diaclases que l'on rencontre de temps à autre. Un des avantages sérieux de la forme parfaitement cylindrique, à parois unies, que produit le fonctionnement de la machine de M. le colonel Beaumont, est de pouvoir facilement isoler la galerie de ces suintements.

Cet isolement se réalise par l'emploi d'un revêtement en fonte formé d'anneaux ayant exactement, comme diamètre extérieur, le diamètre intérieur de la galerie. Les anneaux, d'une hauteur de $0^{m},30$, sont divisés en cinq segments consolidés par des nervures, à travers lesquelles passent des boulons qui réunissent les segments entre eux, et chaque anneau aux anneaux voisins.

Lorsqu'une fissure laissant passer l'eau est rencontrée, on pose un ou plusieurs anneaux de fonte, de manière à la masquer complètement.

La pose d'un anneau se fait en plaçant d'abord les quatre premiers segments ; le cinquième forme clef, et les boulons tendent, pour celui-là, à le séparer du segment voisin, en appuyant fortement tout l'anneau contre la roche par son expansion même ; le joint, d'ailleurs très faible, qui existe entre les deux segments est rendu lui-même étanche par l'intercalation préalable entre la fonte et la roche, le long du joint, d'une bande de tôle mince.

Lorsque les sources ne sont pas très faibles et que l'eau jaillit avec une certaine vitesse, on a employé avec succès une sorte de mastic au minium qu'on place entre les segments et la roche, et qui est comprimé à la façon d'un joint à eau, par le serrement des anneaux contre la roche. Le mastic sert aussi à assurer l'étanchéité entre deux anneaux voisins.

Quand la fissure de la roche est très oblique à la direction de la galerie, on est parfois obligé d'accoler plusieurs anneaux à la

suite les uns des autres, de manière à former un véritable cuvelage horizontal, dont les deux extrémités doivent atteindre la roche compacte et non fissurée.

Grâce à la bonne exécution de ces anneaux de fonte, leur pose est très rapide : il ne faut pas plus d'une demi-heure pour poser un anneau complet, et l'expérience faite sur plusieurs points de la galerie ouverte à Shakespeare-Cliff, par la compagnie anglaise, montre que, par ce procédé si simple, on arrive à aveugler complètement les sources qui se présentent.

En raison de la pente suivant laquelle descend la galerie anglaise, son extrémité était arrivée récemment à 51 mètres au-dessous du zéro hydrographique, dans un point où la profondeur de la mer à marée basse est de 5 mètres : il restait donc 46 mètres d'épaisseur de craie entre le sol de la galerie et le fond de la mer.

Ce sera sensiblement à la même cote qu'arrivera, au bout de 1.500 mètres, la galerie partant du fond du puits français et se dirigeant en montant pour étudier le bombement des Quénocs, tout en devant, plus tard, servir comme galerie d'écoulement à l'asséchement d'une partie importante du grand tunnel.

(*Extrait des* Comptes rendus de l'Académie des sciences, *séance du* 26 *juin* 1882.)

EMPLOI DE LA CHAUX POUR L'ABATAGE DU CHARBON

On essaie depuis quelques mois, dans les houillères de Shipley (Derbyshire), un procédé d'abatage du charbon qui permet d'éviter le tirage à la poudre, cause d'accidents nombreux dans ces mines particulièrement grisouteuses. Ce procédé, imaginé par MM. Smith et Moore, est fondé sur l'augmentation de volume qu'éprouve la chaux caustique lorsqu'elle se combine avec l'eau.

La chaux, réduite en poudre fine, est moulée, sous une pression de 40 tonnes, en cylindres de 2 pouces et demi (63 millim.) de diamètre, creusés d'une rainure suivant une génératrice. Ces cylindres sont conservés dans des boîtes fermées à l'abri de l'humidité. On dégage, par un havage, le charbon à sa partie inférieure, et l'on perce vers le haut, contre le toit, des trous semblables aux trous de mines, d'un diamètre convenable, au moyen d'une perforatrice tournante en forme de vrille, manœuvrée à la main. On engage dans ce trou, contre sa génératrice la plus élevée, un tube en fer d'environ un demi-pouce (25 millim.) de diamètre,

muni d'une petite fente longitudinale à sa partie supérieure et percé de trous; ce tube, muni d'un ajutage avec robinet à son extrémité antérieure, est enfermé dans un étui de calicot. On place les cylindres ou cartouches de chaux, dans la rainure desquels se loge le tube de fer, et l'on remplit le trou en les serrant légèrement; puis on fait un bourrage serré, comme dans le tirage à la poudre. On met alors l'ajutage du tube de fer en rapport avec une pompe foulante, et l'on y chasse un volume d'eau égal à peu près à celui de la chaux employée. L'eau s'échappe par la fente et par les trous du tube et sature la chaux; on ferme ensuite le robinet pour empêcher la vapeur d'eau dégagée de s'échapper à l'extérieur.

La pression de la vapeur et l'augmentation de volume de la chaux, qui se produit dans la proportion de 4 à 1, font tomber le charbon, et souvent notablement au delà du fond même du trou. On obtient ainsi une proportion très forte de gros, la pression se développant graduellement. Il faut environ 12 minutes pour percer le trou sur un diamètre de 2 pouces et demi et une profondeur de 3 pieds (91 cent.); 4 minutes pour le chargement et 1 minute pour refouler l'eau. La chute a lieu au bout de 10 à 15 minutes, quand on enlève les étais qui soutenaient le charbon en dessous.

Ce procédé évite tout danger d'explosion, tout développement de mauvais gaz, ainsi que tout ébranlement du toit. Il donne, comparé à l'abatage au moyen de coins qui avait dû remplacer l'abatage à la poudre aux mines de Shipley, un avantage considérable. En effet, dans les trois semaines écoulées du 19 janvier au 8 février 1882, on a obtenu, en 319 heures trois quarts de travail à la main, 628 tonnes de charbon à l'un des chantiers, et à l'autre 758 tonnes en 219 heures de travail avec l'emploi de la chaux. La proportion de charbon obtenu est donc, à durée de travail égale, augmentée dans la proportion de 178 à 100.

En raison des garanties que donne ce procédé au point de vue de la sécurité, il a été signalé à l'attention par les membres de la commission des accidents de mines, et notamment par MM. Warrington Smyth, Abel et Burt, qui l'ont vu appliqué à Shipley.

(Extrait du *Journal of the Iron and Steel Institute : On a new method of mining coal, by* Mr. Paget Mosley.)

R. Z.

LE CHEMIN DE FER ET LE TUNNEL DE L'ARLBERG

Dès la fin de l'année 1880 on avait commencé l'étude d'une ligne de chemin de fer destinée à relier Innsbrück avec le lac de Constance par le col de l'Arlberg et le Vorarlberg. Une partie de cette ligne fut exécutée il y a peu d'années sur le versant suisse ; elle s'arrête actuellement à Bludenz; il reste à relier Bludenz avec Innsbrück, en franchissant la ligne de séparation des deux bassins du Rhône et du Danube.

Le 8 mai 1880, les Chambres autrichiennes ont voté une loi chargeant l'État de l'exécution de cette ligne, et les travaux sont aujourd'hui en pleine activité. M. Meyer, ingénieur en chef de la compagnie de la Suisse occidentale et Simplon, vient de publier sur ces travaux une note des plus intéressantes, dont il n'est malheureusement possible de donner ici qu'un très court résumé.

Le grand tunnel, sous la montagne de l'Arlberg, doit avoir une longueur totale de 10.270 mètres ; du côté est, sur le versant tyrolien, la cote à l'entrée est de 1.302 mètres; le point le plus élevé est à l'intérieur du tunnel, à $1.310^{m},20$ d'altitude; l'altitude de la tête ouest est de $1.214^{m},88$. D'Innsbrück à Landeck, dans la vallée de l'Inn, sur $72^{km},800$ de longueur, les rampes d'accès ne dépassent pas 10 millimètres par mètre. Cette section doit s'ouvrir en automne 1882. De Landeck à l'entrée du tunnel, sur $27^{km},800$, la rampe est presque constamment de 25 millimètres et même de $25^{mm},2$, avec des courbes de 250 mètres de rayon. De l'autre côté, entre le tunnel et Bludenz, les déclivités atteignent souvent 29 et 30 millimètres, le parcours n'étant que de $25^{km},800$ pour une différence de niveau de 616 mètres.

Le tunnel doit être percé dans une masse de schistes cristallins plus ou moins quartzeux : les roches sont plus dures du côté est, le quartz y étant plus abondant. On a adopté pour le percement la méthode anglaise, c'est-à-dire la galerie d'avancement à la base; cette galerie est ouverte sur $2^{m},75$ de largeur et $2^{m},30$ de hauteur; tous les 50 mètres on perce au toit pour attaquer une galerie de faîte, de 2 mètres de largeur sur $2^{m},30$ de hauteur.

En attendant que les installations pour la perforation mécaniques fussent terminées, et que l'adjudication du travail eût été faite, les ingénieurs de l'État autrichien ont fait commencer le percement à la main; il a été exécuté ainsi, du 25 juin au 13 novembre 1880, $227^{m},40$ du côté ouest, et du côté est $219^{m},70$ du 24 juin au 22 novembre 1880. Depuis la fin de novembre 1880 le

service de la perforation mécanique a fonctionné régulièrement. On a percé ainsi, depuis cette époque jusqu'à la fin de 1881, 3.220 mètres, savoir : 1.857^m,80 du côté est, avec un avancement journalier moyen de 4^m,771, et du côté ouest 1.362^m,40 avec un avancement journalier moyen de 3^m,473. Pendant le premier trimestre de 1882, on a avancé du côté est de 480 mètres, ce qui met l'avancement moyen pour l'ensemble à 4^m,805 par jour, et du côté ouest de 415^m,10, ce qui donne, pour la moyenne générale de l'avancement journalier de ce côté, 3^m,592. La longueur totale percée au 31 mars 1882 s'élevait ainsi à 4.115^m,30. Du côté de l'est, on emploie les perforatrices à percussion et à air comprimé du système Ferroux, Séguin et Walker; l'air est amené, au moyen de compresseurs à eau à une pression de 5 atmosphères qu'on pourra porter à 8. Du côté de l'ouest, on emploie la perforatrice Brandt, à rotation, constituée par un cylindre creux dont la couronne est dentelée et qui produit un vide annulaire, avec une carotte centrale; cette machine est mue par l'eau sous une pression de 80 à 100 atmosphères. En raison des bons résultats qu'elle a donnés au tunnel du Pfaffensprung, sur la ligne d'accès du Saint-Gothard, on désirait la comparer avec les perforatrices à percussion, mais jusqu'ici les roches du côté de l'est se sont montrées peu favorables : il a fallu plusieurs fois arrêter le travail à la machine, auquel ne se prêtaient pas les schistes désagrégés et fendillés; toutefois on a pu continuer la perforation mécanique avec le système Brandt dans des roches où, au Saint-Gothard, il avait fallu renoncer aux machines à percussion. Le résultat moyen obtenu est d'ailleurs assez satisfaisant : pour le mois de janvier dernier, l'avancement journalier s'est même élevé avec cette machine à 4^m,73.

En somme, on est, d'un côté comme de l'autre, sensiblement en avance sur le chiffre de 3^m,30 par jour prévu par le cahier des charges, et qui devait permettre l'ouverture de la ligne dans l'automne de 1885.

(Extrait du *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes : Note sur le chemin de fer de l'Arlberg et en particulier sur le grand tunnel de ce nom*, par M. J. Meyer.)

R. 7.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

ERRATA

Page 151, ligne 4, *au lieu de* qui sépare la houille amorphe, *lire* que sépare de la houille amorphe.

Page 279, ligne 8, tant en vase clos qu'à l'air libre, *supprimer* tant.

Page 287, ligne 15, *au lieu de* dans les dépôts, ayant, *lire* dans les dépôts ayant.

Page 287, ligne 18, *au lieu de* terrain houiller qui appartient, *lire* terrain houiller, qui appartient.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME PREMIER.

Pl. I. à IV. — Constitution des couches houillères.

Pl. V, *fig.* 1 à 4. — Fabrication de l'acier au moyen de fontes phosphoreuses.

Pl. V, *fig.* 5 à 7. — Appareil destiné à la descente des hommes dans les mines de Victoria (Australie).

Pl. VI et VII, *fig.* 1, 2. — Géologie du bassin houiller de Newcastle.

Pl. VII, *fig.* 3 à 8. — Calcul des efforts transmis aux pièces des systèmes de barres.

Pl. VIII, *fig.* 1 à 12. — Planimètre d'Amsler.

Pl. VIII, *fig.* 13 à 16. — Parcours des bandages de roues.

Pl. IX. *fig.* 1 à 13. — Expériences sur la pression du grisou dans la houill[illegible]

Pl. IX, *fig.* 14, 15. — Structure des laitiers de hauts-fourneaux.

Pl. IX, *fig.* 16 à 18. — Tambours spiraloïdes pour les câbles d'égale [illegible] tance.

IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 26, A PARIS.

1

Fig. 6 *Écorces de Cordaïtes*

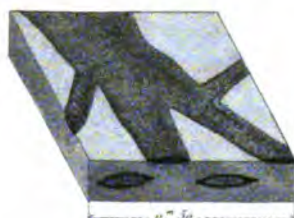


Fig. 7



Tiges de bois aplaties dans la houille

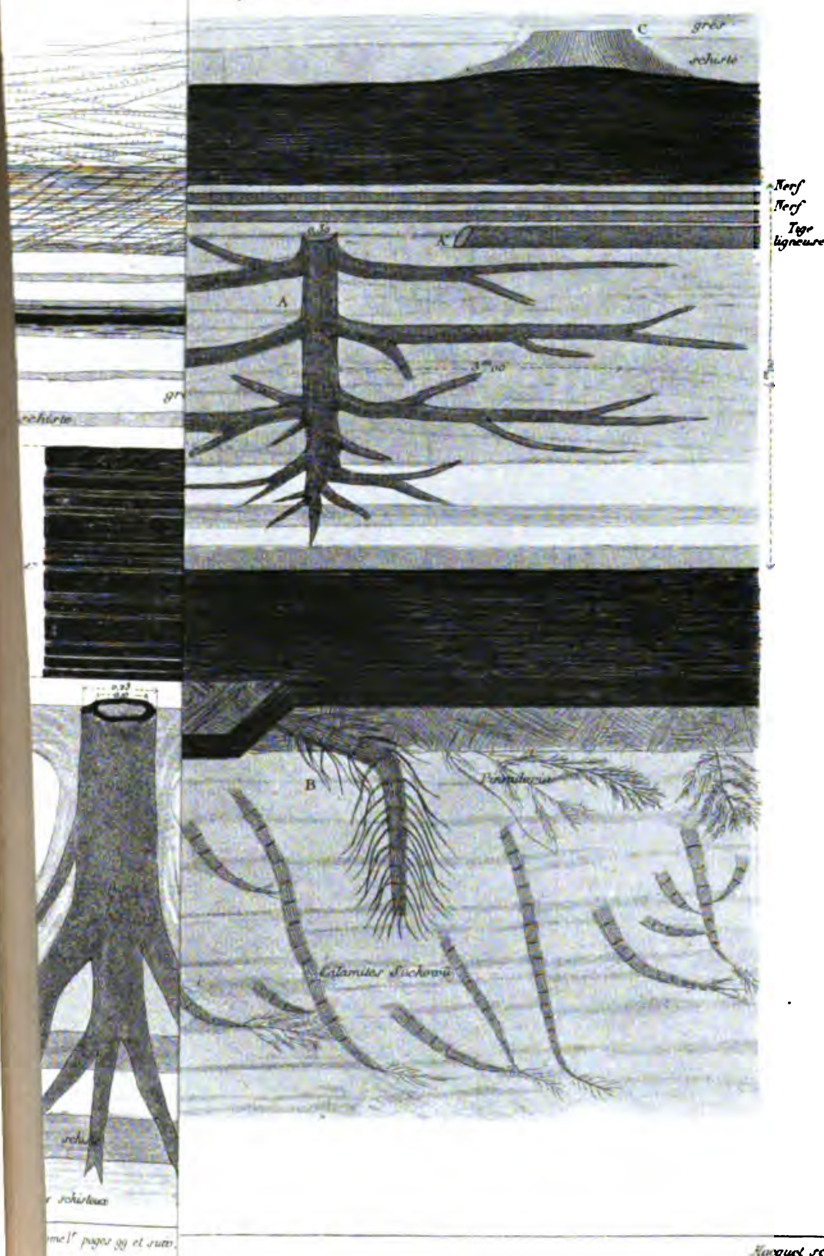
Fig. 9



Concentration de la matière charbonneuse répandue dans les schistes, en une couche de mauvaise houille nerveuse.

maria

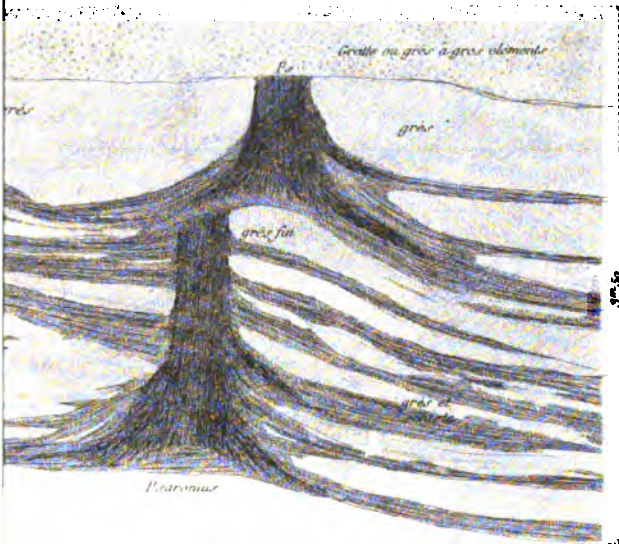
Macquet sc.


Fig. 2.
Coupe de la 2e couche au Treuil
C
grès
schiste
Nerf
Nerf
Tige ligneuse
A
B
Calamites Suckowii
schiste
schisteux
me Ier pages 99 et suiv.

Hacquet sc.



Forêt fossile de Psaronius



Radiculites dans l'Oural

Fig. 5

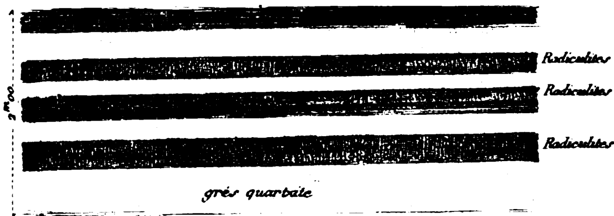
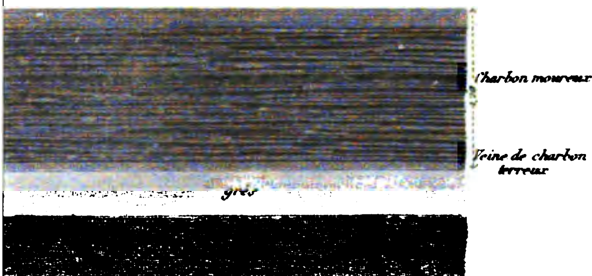


Fig. 7



Mauquet sc

g. 1

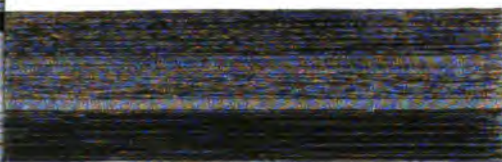
b

ig. 1.

uille au dessous de la couche des Trois-Gores
ance de charbon cristallin et schisteux.



Fig. 6. Structure du lignite ordinaire



s noire


A

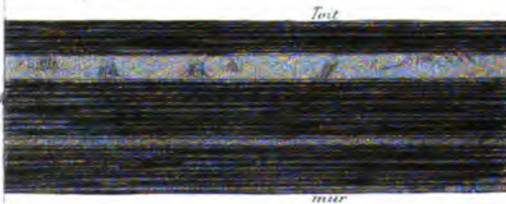

B


C

Fig. 9.

houille perdues

Fig. 4. Couche Ste. Lucie



b

le grise

Macquet del. et sc.

Appareil de descente des hommes
Mines de Victoria (Australie)

Fig. 5

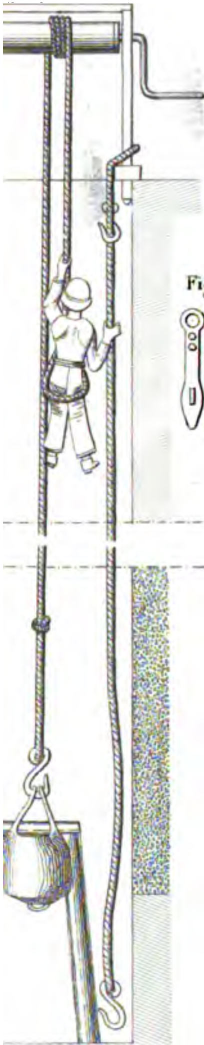


Fig. 7

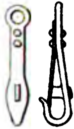
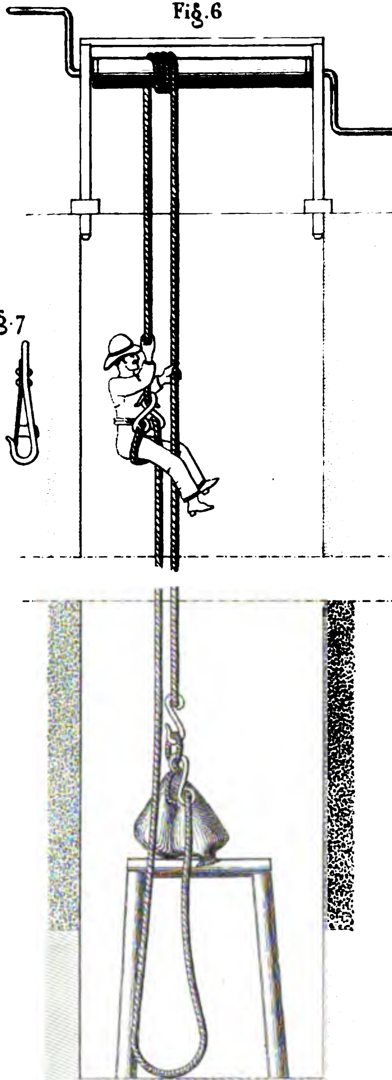
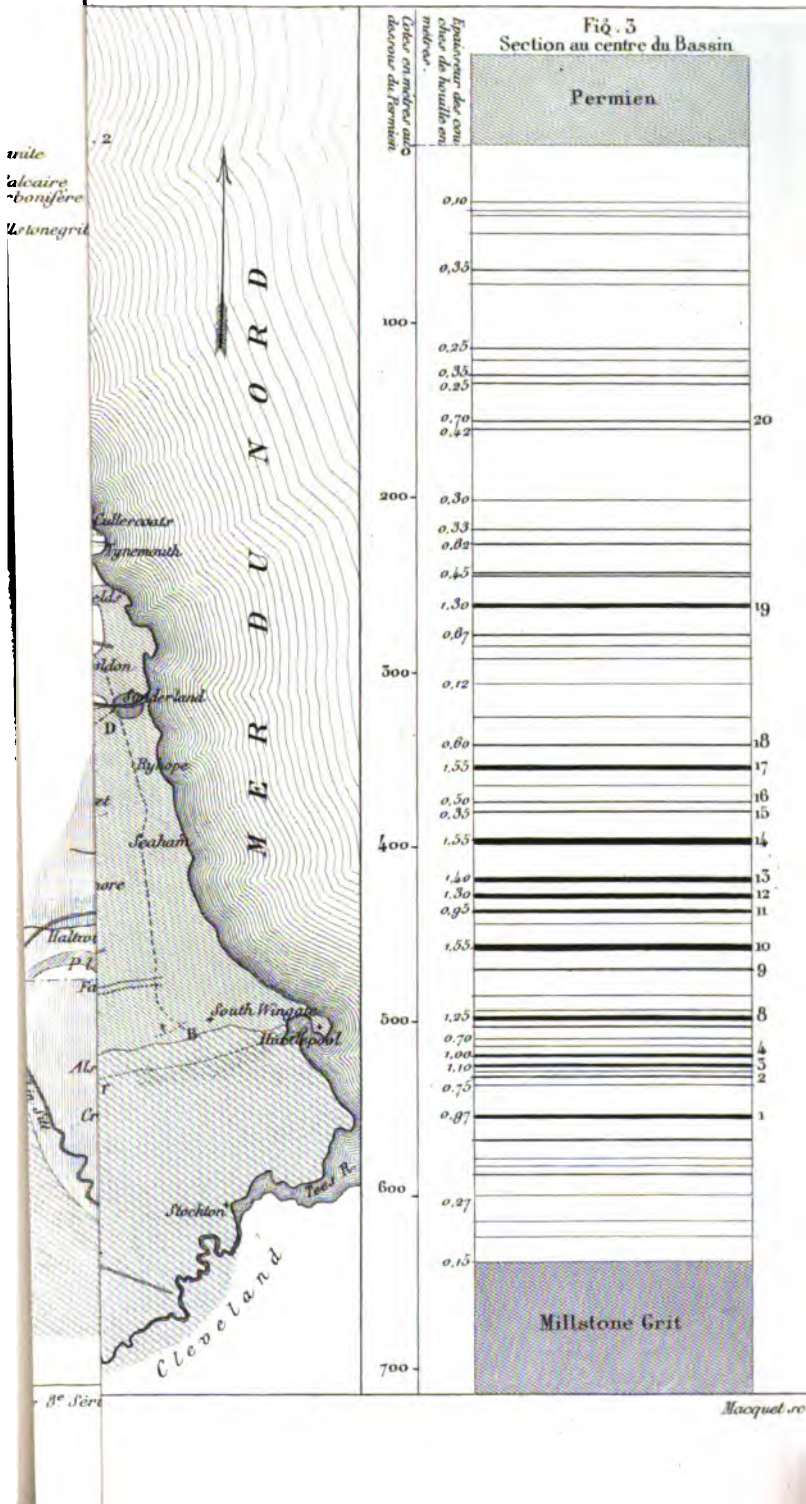


Fig. 6

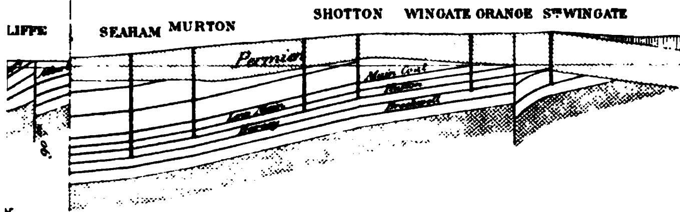


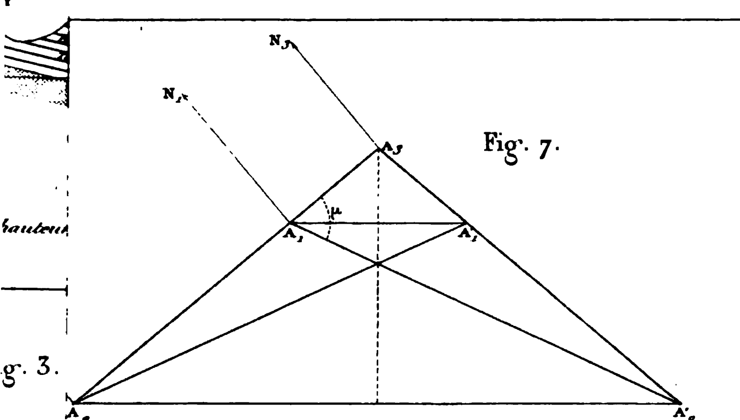
Hacquet sc.

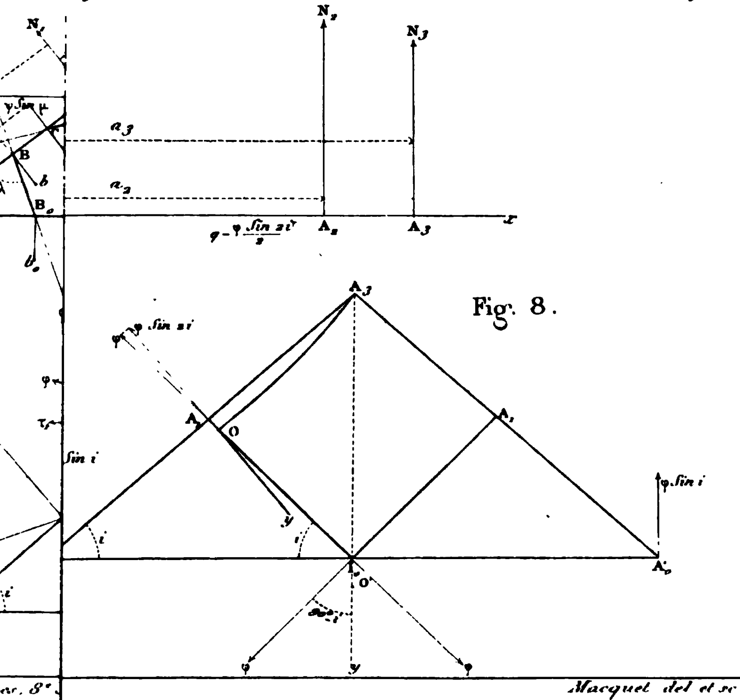


uite
Calcaire
rbonifère
Milstonegrit
2
MER DU NORD
Cullercoats
Tynemouth
Sunderland
D
Ryhope
Seaham
South Wingate
B
Hartlepool
Stockton
Tees R.
Cleveland
Fig. 3
Section au centre du Bassin
Cotes en mètres au dessous du Permien
Épaisseur des couches de houille en mètres.
Permien
Millstone Grit
0,10
0,35
100
0,25
0,35
0,25
0,70
0,42
20
200
0,30
0,33
0,82
0,45
1,30
19
0,87
300
0,12
0,60
18
1,55
17
0,50
16
0,35
15
400
1,55
14
1,40
13
1,30
12
0,95
11
1,55
10
9
500
1,25
8
0,70
4
1,00
3
1,10
2
0,75
0,97
1
600
0,27
0,15
700
8e Sér
Macquet sc









Macquet del et sc.



Fig. 9.

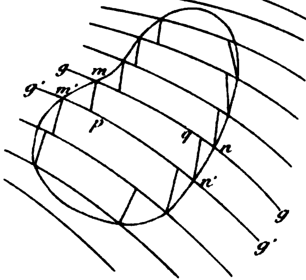


Fig. 12.

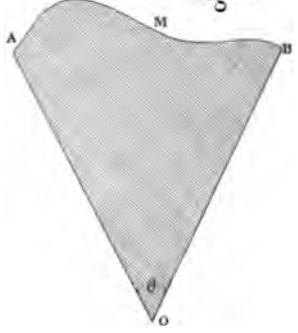


Fig. 10

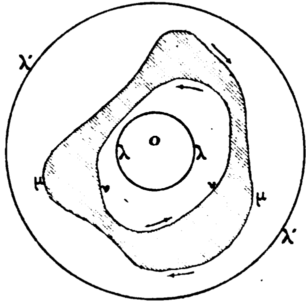


Fig. 11.

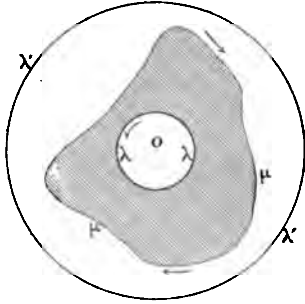
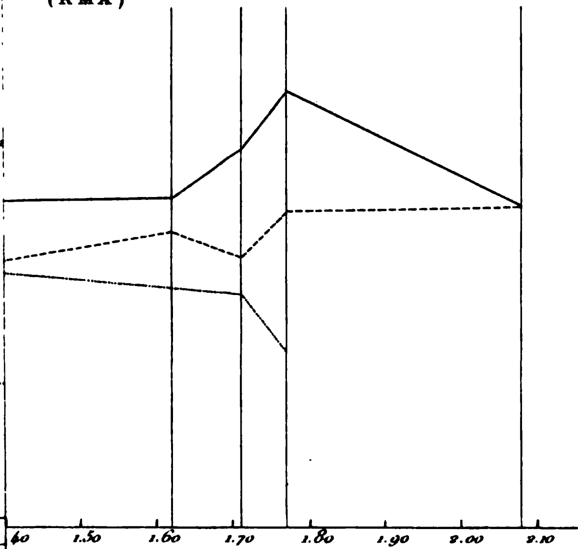
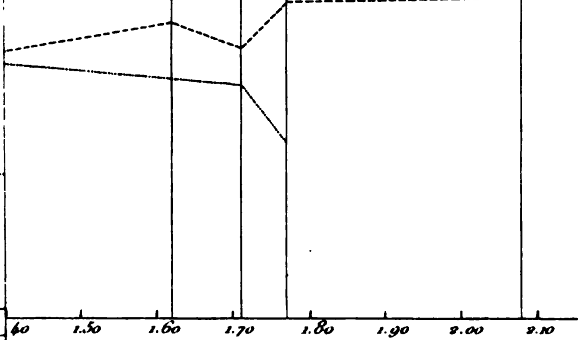


Fig. 16
(RMA)

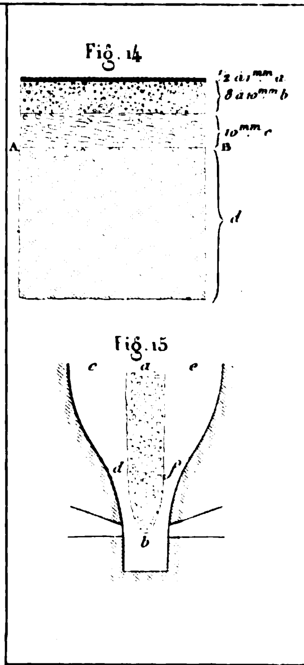
Fig. 13
(RML)

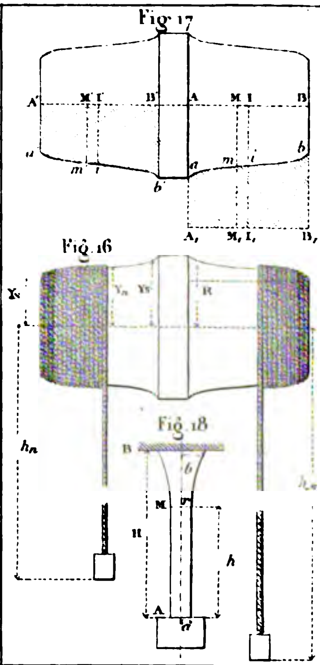



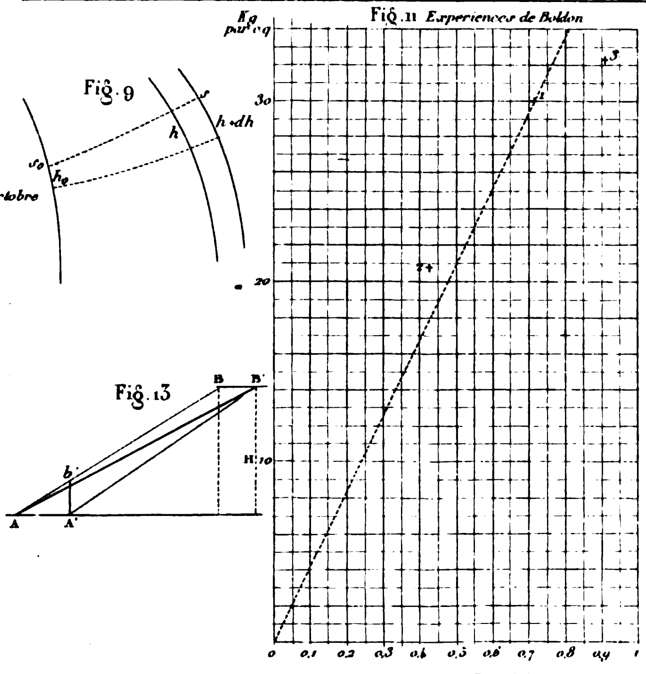
2.00

Série Tome I.

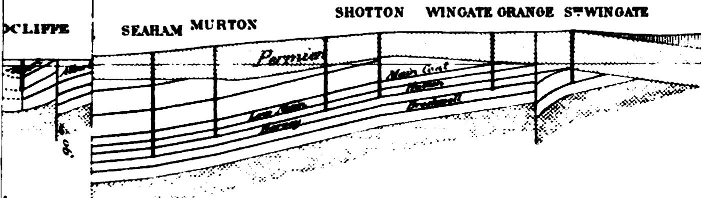
Macquet, sc.


Fig. 14
2 à 1mm a
8 à 10mm b
10mm c
A
B
d
Fig. 15
c
a
e
d
f
b


Fig. 17
A'
M' I'
B'
A
M I
B
a
m' i'
b'
a
m i
b
A1
M1 I1
B1
Fig. 16
R
hn
Fig. 18
B
b
M
H
h
A
a


Fig. 9
s0
h0
h
s
h+dh
Fig. 13
A
A'
b'
B
B'
H
Fig. 11 Expériences de Boldon
Kg par cq
30
20
10
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1

Macquet sc.



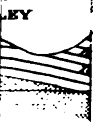
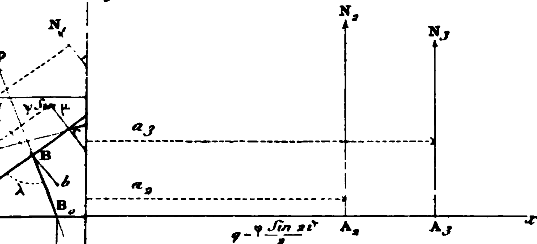
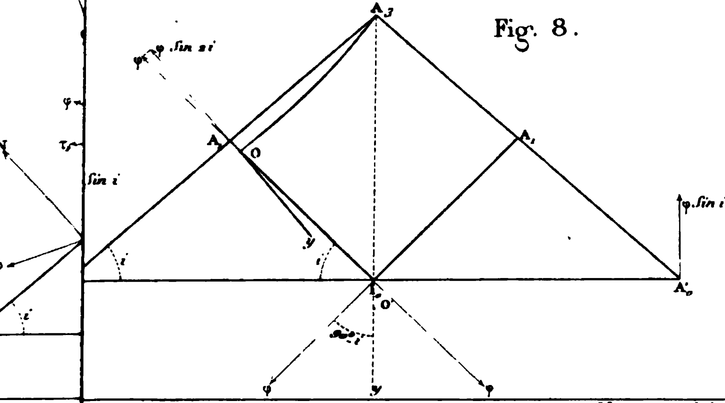


Fig. 7.

Fig. 3.





Macquet del et sc.



Fig. 9.

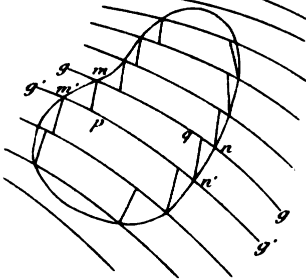


Fig. 12.



Fig. 10

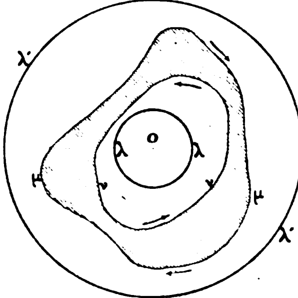


Fig. 11.

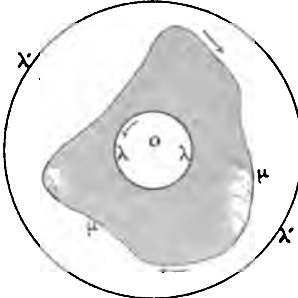


Fig. 16
(RMA)

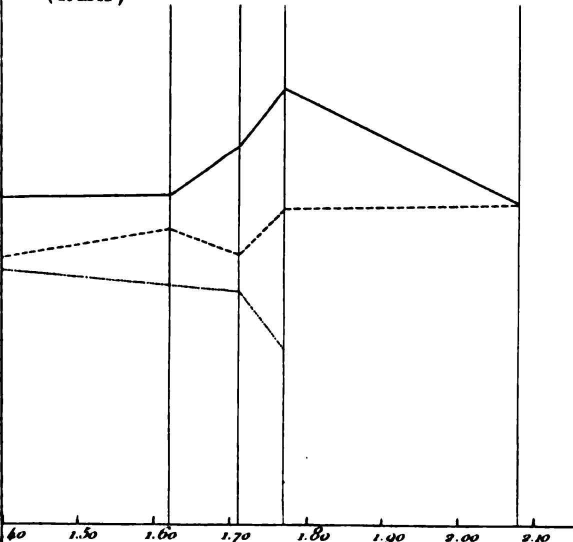
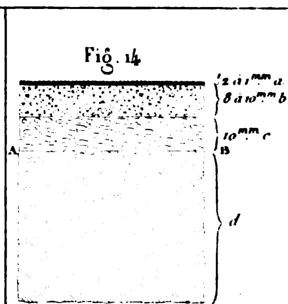


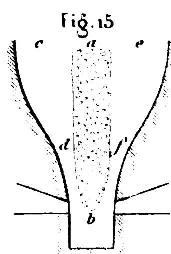
Fig. 13
(RML)

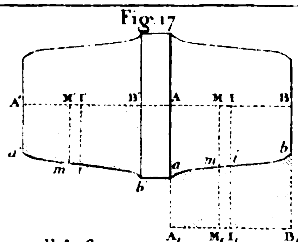
2.00

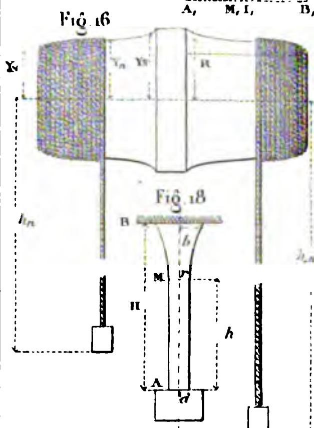
Série Tome I.

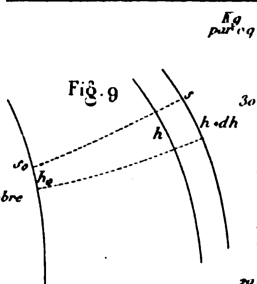
Macquet, sc.

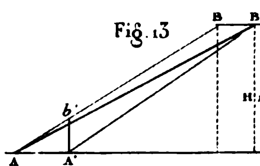

Fig. 14
2 à 1mm a
8 à 10mm b
10mm c
A
B
d

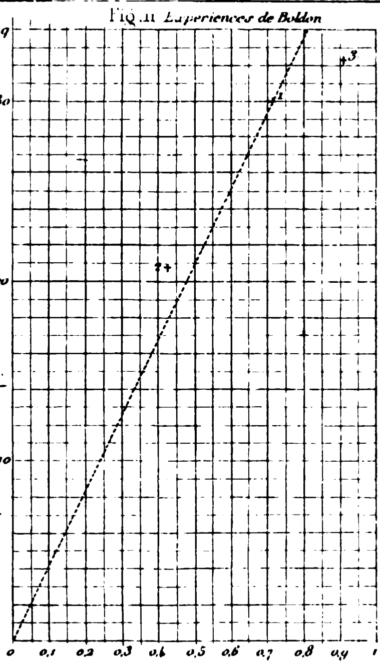

Fig. 15
c
a
e
d
f
b


Fig. 17
A'
M
I
B'
A
M
I
B
a
m
i
b
A,
M,
I,
B,


Fig. 16
Fig. 18
B
M
H
h
A
d


Fig. 9
s
h
h+dh
s0
h0


Fig. 13
B
B'
b'
H
A
A'


Fig. 11 Expériences de Boldon
Kg par c.q
30
20
10
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1

Macquet sc.



